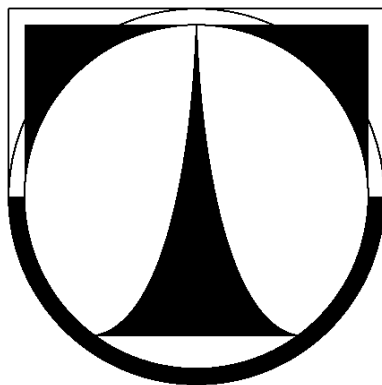


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

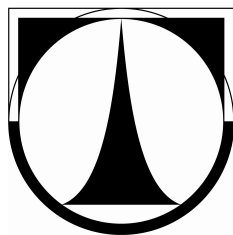


DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2010

ZUZANA ŠTEFANIČOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: Textilní inženýrství

Studijní obor: Management jakosti

Katedra hodnocení textilií

Směrová orientace vlákených systémů Planar Anisotropy of Fibre Systems

KHT - 010

Autorka: Bc. Zuzana Štefaničová

Vedoucí diplomové práce: Ing. Maroš Tunák, Ph.D.

Rozsah práce: 92

Počet stran textu: 53

Počet obrázků: 39

Počet tabulek: 2

Počet příloh: 5

Originál zadania

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

V Liberci, dne 17. 5. 2010

.....
Podpis

Pod'akovanie

Rada by som pod'akovala Ing. Marošovi Tunákovi, Ph.D. za jeho cenné rady a pripomienky, ktoré mi poskytoval po celú dobu tvorby diplomovej práce i za čas, ktorý mi venoval.

Taktiež ďakujem svojim rodičom a všetkým, ktorí ma akýmkoľvek spôsobom podporovali počas celého štúdia.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá anizotropií neboli směrovým uspořádáním struktury vláknenných systémů. První část práce je zaměřena na testování odhadu anizotropie různými metodami. První testovanou metodou byl odhad směrového uspořádání v podobě směrové růžice založené na grafické konstrukci Steinerova kompaktu. Další metody byly založeny na *2D DFT* a to pomocí polárního diagramu, pomocí horizontálních a vertikálních histogramů a histogramu v polárních souřadnicích. Všechny metody byly testovány na obrazech náhodných i pravidelných textur. Na základě teoretických poznatků je v druhé části navržena modifikovaná metoda pro odhad anizotropie neboli směrového uspořádání vláknenných systémů, která je také založená na *2D DFT*. Navrhovaná metoda byla následně aplikována při testování textilního materiálu v celé ploše obrazu. Testování bylo prováděno na obraze nanovláken a na dvou reálných netkaných textiliích.

Klíčová slova: anizotropie, směrová orientace, směrová růžice, průsečiková růžice, vláknenný systém, Fourierova transformace, netkaná textilie

Annotation

This diploma thesis deals with the anisotropy or directional arrangement of the structure of fibre systems. The first part is focused on testing different methods of estimating anisotropy. First, experimental method for estimation of directional arrangement was based on rose of direction obtained with the aid of Steiner compact construction. Other methods were based on *2D DFT* and for estimation used a polar diagram, horizontal and vertical histograms and histogram in polar coordinates. All methods were tested on random and regular textures. Modified method for estimation of anisotropy or directional arrangement of fibre systems, which is based on *2D DFT* is proposed in second part of thesis. Proposed method was then applied for the testing of textile materials in whole image area. Testing was performed on the image of nanofibers and two real non-woven textiles.

Keywords: Anisotropy, Directional Orientation, Rose of Direction, Rose of Intersections, Fibre System, Fourier Transform, Nonwoven Fabrics

Zoznam použitých symbolov a skratiek

h	prírastkový vektor
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
S_a	stupeň anizotropie
$m \times n$	počet riadkov a stĺpcov obrazovej matice
k	označenie intervalu
$pixel$	<i>Picture Element</i>
b	bit
RGB	farebný obraz
G	generované obrázky
B	obrázky z Brodatzovej databázy textúr
D	obrázky z Databázy textúr textílií a textilných vzorov
UES	Univerzitný Elearningový Systém
$gif, im, jpg, bmp, tif, rlf$	obrazové formáty
$f(\alpha)$	odhad textúrnej funkcie
$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$	sieť uhlov
x_i	počet priesečníkov
$2D DFT$	<i>2 Dimensional Discrete Fourier Transform</i>
$f(x,y)$	obrazová funkcia dvoch premenných
$F(u,v)$	koefficient $2D DFT$ v súradnicovom systéme
$2D IDFT$	<i>2 Dimensional Inverse Discrete Fourier Transform</i>
DC	<i>Direct Current</i>
$R(u,v), I(u,v)$	reálna a imaginárna zložka $F(u,v)$
$P(u,v)$	výkonové spektrum
$g(x,y)$	segmentovaný obraz
T	úroveň prahu
H/V	pomer horizontálneho a vertikálneho histogramu
max/min	pomer maximálnej a minimálnej hodnoty
SF	<i>Shape Factor</i>
D	deformácia
IPT	<i>Image Processing Toolbox</i>
a, b	hlavná a vedľajšia poloosa

Obsah

Zoznam použitých symbolov a skratiek	7
Obsah	8
1 Úvod	9
2 Zhrnutie súčasného stavu.....	10
2 Obraz	13
2. 1 Digitalizácia obrazu.....	13
2. 2 Rozdelenie obrazu	14
3 Anizotropia	15
3. 1 Charakteristika vlákenných systémov	17
4 Testovacia obrazová sada	18
4. 1 Generované obrázky	19
4. 2 Brodatzova databáza textúr	19
4. 3 Databáza textúr textílií a textilných vzorov.....	20
4. 4 Netkaná textília – pás	22
5 Vyhodnocovanie anizotropie.....	26
5. 1 Experimentálna metóda určovania anizotropie	26
5. 2 Spektrálny prístup.....	30
5. 2. 1 Dvojrozmerná Fourierova transformácia.....	30
5. 2. 2 Odhad smerovej orientácie pomocou polárneho diagramu	32
5. 2. 3 Horizontálny a vertikálny histogram	34
5. 2. 4 Histogram v polárnych súradniciach	36
5. 3 Smerová orientácia pomocou elipsy	38
5. 4 Praktické využitie experimentálnych metód.....	40
6 Hodnotenie smerovej orientácie v ploche textílie	45
6. 1 Hodnotenie smerovej orientácie na obraze nanovlákn	45
6. 2 Hodnotenie smerovej orientácie na netkanej textílii 1	52
6. 3 Hodnotenie smerovej orientácie netkanej textílii 2	54
Záver	57
Zoznam použitej literatúry.....	58
Zoznam príloh	60

1 Úvod

Textilný materiál je tvorený z vlákien. Vlákná by mali splňovať vlastnosti ako pevnosť, súdržnosť, schopnosť prijímať farbivá a mali by mať dostatočnú dĺžku. Z vlákien sú vytvárané plošné textílie tkaním, pletením či vzájomnou súdržnosťou jednosmerne alebo náhodne usporiadaných vlákien, tj. netkaných textílií. Jedným z dôležitých charakteristík hodnotenia kvality netkaných textílií je plošná variabilita geometrických alebo iných vlastností. Taktiež sledovanie rovnomernosti usporiadania vlákenného materiálu. Plošná variabilita vlastností je charakteristikou kvality textílií a ovplyvňuje ich praktické využitie.

U netkaných textílií sú vlastnosti ako lokálna plošná hmotnosť a smerová orientácia vlákien závislé na technológii výroby a použitých materiáloch. Pri použití rôznych technologických postupov vznikajú textílie s rozdielnou pevnosťou, savosťou, hustotou, rôznou odolnosťou voči vplyvom vonkajšieho prostredia ako napríklad geotextílie. Rovnomerné usporiadanie materiálu v celej ploche výrobku má vplyv na mechanické, geometrické a fyzikálne vlastnosti. Pravidelne usporiadaná plošná textília má vysokú pevnosť v ťahu a odolnosť voči trhaniu. Nerovnomernosť sa môže prejaviť kolísaním hmotnosti, mechanických alebo fyzikálnych vlastností či nerovnomernou štruktúrou. Meranie nerovnomernosti začínalo v subjektívnom hodnotení textílie a v dnešnej dobe prešlo k počítačovým metódam analýzy obrazu.

Pri analýze textilných materiálov sa veľmi často stretávame s hodnotením anizotropie alebo smerového usporiadania textilných objektových systémov. V textilnom odvetví môžeme za objekty považovať vlákna, nite, priečne rezy vlákien a podobne. Systémy obsahujúce objekty môžu byť napríklad pavučiny, rúna, vrstvy vlákien, tkaniny, pleteniny, netkané textílie atď. Rovinnými vlákennými systémami môžu byť aj projekcie tenkých vrstiev objemných textílií. Možnosti, ktoré vedú k zisteniu orientácie vlákien v netkaných textíliách je celá rada, od subjektívneho vizuálneho hodnotenia až k počítačovým metódam analýzy obrazu.

Cieľom práce je zisťovanie štruktúrnej anizotropie vlákenných systémov a vytvorenie postupu pre jej odhad. V praktickej časti sú výsledky vytvorených algoritmov porovnané s experimentálnou metódou odhadu smerovej orientácie. V ďalšej časti práce je graficky vyhodnocovaná smerová orientácia v ploche netkanej textílie.

2 Zhrnutie súčasného stavu

Zisťovaním anizotropie smerového usporiadania vlákenných alebo iných systémov sa v poslednej dobe zaoberalo niekoľko autorov. Stručný prehľad bude uvedený v nasledujúcom texte.

Autori vo svojej práci [1], [2] popisujú experimentálnu analýzu plošnej anizotropie pomocou Steinerovho kompaktu. V práci uvádzajú jednoduchú grafickú metódu na odhad anizotropie rovinných vlákenných štruktúr pomocou smerovej ružice. Postup určenia smerovej ružice začína vo vytvorení siete uhlov. Sieť uhlov sa priloží na sledovanú štruktúru a zistia sa počty priesečníkov siete uhlov s objektmi. Tie sa vynesú do polárneho diagramu, čím vznikne priesečníková ružica. Na koncové body priesečníkovej ružice sa vynesú kolmice. Vznikne mnohouholník, ktorý je konvexný a stredovo symetrický, a nazýva sa Steinerov kompakt. Vzdialenosti vrcholov mnohouholníka určujú hodnoty textúrnej funkcie, ktorá je potom vynesená do smerovej ružice, odhadu textúrnej funkcie. Tento prístup zaručuje väčšiu stabilitu ako bežne používané, neparametrické metódy. Podrobnejší popis a postup konštrukcie smerovej ružice bude uvedený aj s konkrétnym príkladom v kapitole 5.1.

Vzhľadovou nerovnomernosťou netkaných textílií sa zaoberali autori v práci [3]. Základom je subjektívny a objektívny pohľad na netkanú textíliu a jej vzhľadovú nerovnomernosť. Pri subjektívnom hodnotení sa obraz textílie rozdelí na štvorcovú sieť a zisťuje sa počet miest s najväčšou úrovňou jasu v každej bunke. Subjektívne hodnotenie netkanej textílie je časovo náročnejšie. Pre hodnotenie textílie sa používa porovnanie variačného koeficientu a jeho závislosť na ploche. Nerovnomernosť sa určuje v pozdĺžnom a priečnom smere pomocou analýzy rozptylu. Z rozptylu sa tak určuje variačný koeficient. Objektívne vizuálne hodnotenie je vyhodnocované na systéme LuciaTM pre analýzu obrazu. Zisťuje sa počet bielych miest, tj. úsekov bez textilného materiálu a veľkosť škvŕn, poprípade veľkosť póru. Biele škvŕny v subjektívnom hodnotení nesúhlasia s počtom bielych škvŕn získaných obrazovou analýzou, ide o rozdiel medzi subjektívnym a objektívnym hodnotením.

Pri popise fyzikálnych vlastností plošných textílií, ktoré sú závislé na polohe, predstavuje významnú úlohu priestorové usporiadanie týchto textílií. Bližšie sú popísané v práci [4].

Náhodné pole sú dáta momentových charakteristík druhého radu, ktoré vyjadrujú jeho variabilitu. Spôsoby konštrukcie sú priestorová kovariancia (globálna variabilita) a variogram (lokálna variabilita). Priestorová, resp. plošná variabilita geometrických aj iných vlastností charakterizuje kvalitu textílie a taktiež jej použitie. Variogram je nástroj na hodnotenie štatistickej variability náhodných polí a grafického vyjadrenia priestorovej variability. Sústava variogramu je usporiadaná do buniek štvorcovej siete. Centrálna bunka, kde je začiatok, má nulový prírastok vektoru. Ďalšie bunky majú prírastkový vektor h vytvorený ako násobok dĺžky a výšky stredovej bunky v smere x a y . Výberový smerový variogram v smere prírastkového vektoru je daný ako počet dvojíc bodov oddelených o vzdialenosť h a orientovaných v smere pozdĺžnom, diagonálnom a priečnom. Grafické vyjadrenie priestorovej variability je možné pomocou variogramového povrchu. Pri zobrazení povrchu je možné určiť smery anizotropie. Uvedené charakteristiky sú použité pre vyjadrenie kolísania lokálnej plošnej hmotnosti netkaných textílií.

Štatistické metódy vyhodnocovania nerovnomernosti textilných materiálov, konkrétne netkaných textílií, boli popísané aj v práci [5]. Tieto metódy predpokladajú, že obraz textílie bol snímaný digitálne a je rozdelený do obdĺžnikových sietí buniek, tzv. pixlov. Klasifikácia s využitím textúrnych štatistík využíva číselné charakteristiky vypočítané z obrazu, ktorý je v úrovniach šedi. Textúrne štatistiky sa všeobecne rozdeľujú na štatistiky 1. rádu, štatistiky 2. rádu a štatistiky vyšších radov. V práci boli použité štatistiky 2. rádu, ktoré sú vypočítané z matice plošných šedotónových závislostí. Matica predstavuje priestorovú závislosť úrovni šedi dvojíc obrazových bodov pre rôzne uhly a vzdialenosti obrazových bodov. Štatistiky druhého rádu sú preto vhodné pre popis textúrnych obrazov. K vyhodnocovaniu homogenity rozloženia materiálu v netkanej textílii slúžila metóda klasifikačného stromu. Pre sledovanie homogenity netkanej textílie autori ďalej využívajú model náhodných polí. Model náhodného poľa využíva to, že digitálny obraz textílie je možné popísať ako náhodné pole určitého typu. Obraz je možné popísať ako realizáciu náhodného poľa. Je tvorený konfiguráciou stavov, ktoré odpovedajú úrovni šedi a dvojrozmernou sieťou indexov, ktorá označuje určitý pixel obrázku.

Práca [6] je zameraná na postup hodnotenia smerovej orientácie predĺženia zŕn v metalurgii pomocou Fourierovej analýzy. Pôsobenie deformačného telesa môže mať za následok predĺženie zŕn v jednom smere a ich skrátenie v druhom smere. Priestorová frekvencia obrazu v rôznych smeroch bude preto odlišná. Spektrum obrazu zŕn bude

anizotropné až elipsovité v závislosti na veľkosti deformácie. Na rozpoznanie stupňa deformácie materiálu autori využili dve metódy. Prvá je zameraná na výpočet šírky horizontálneho a vertikálneho histogramu a druhou je histogram v polárnych súradniciach. Tieto metódy budú bližšie popísané v kapitole 5.2.3 a 5.2.4.

Rovnakú metodiku využili autori aj v práci [7] hodnotením smerovej orientácie. Metóda posudzovala mikroskopické obrazy štruktúry tvorenej elasténom (vláknitá bielkovina), membránou a vlákien pomocou rýchlej Fourierovej transformácie (*FFT*). Štruktúra zobrazenia na mikrofotografii bola transformovaná do Fourierovho spektra a využíva tú skutočnosť, že *FFT* je veľmi citlivá na smerovú orientáciu. Výsledky na 24.-och vzorkách preukázali, že rýchla Fourierova transformácia poskytuje účinnú metódu pre vyhodnocovanie priečnych rezov membrán a vlákien, ktorá odráža ich smerové usporiadanie, tj. anizotropiu.

Práca [8] poskytuje jednoduchú metódu pre výpočet uhla orientácie a stupňa anizotropie. Princíp metódy je založený na výpočte Fourierovej transformácie a následným popisom rozdelenia frekvenčných komponent okolo nulovej frekvencie pomocou analýzy hlavných komponent. Navrhujú výpočet tzv. indexu spoľahlivosti 0 - 100%, ktorý indikuje či textúrny obraz je orientovaný alebo nie. Stupeň anizotropie získaný touto metódou je použiteľný pre charakterizáciu strojových povrchov.

Plošnou anizotropiou vlákenných systémov a jej grafickou reprezentáciou pomocou analýzy obrazu sa zaoberali autori v práci [9]. Navrhnutá metóda je založená na Fourierovej transformácii, kde hodnoty frekvenčných komponent vo Fourierovom spektre sú sčítané vo smerovom vektore pre určitý uhol. Hodnoty sú potom vynášané do polárneho diagramu ako odhadu smerovej ružice a histogramu. Metóda bola aplikovaná na šedotónové obrazy textilných štruktúr, konkrétne na obrazy netkaných textílií. Výsledky boli porovnané s experimentálnou metódou. Výhodou tejto metódy je jej rýchlosť, výsledky sú k dispozícii priamo po získaní obrazu a aplikácii algoritmu. Anizotropiu je možné sledovať s odstupom jedného stupňa. Metodika bude podrobnejšie popísaná v kapitole 5.2.2.

Výskumom v oblasti smerovej orientácie vlákenných systémov, konkrétne na tzv. ryžovom papieri, kde zrnká ryže predstavujú vlákna, sa zaoberali aj ďalší autori v práci [10] a [11].

Autori navrhovali metódu smerovej orientácie vlákien zo šedotónových obrazov založenú na kolísaní úrovne šedi pre smerové vektory v rôznych smeroch obrazu.

2 Obraz

Obraz môže byť definovaný ako dvojrozmerná funkcia $f(x,y)$, kde x a y sú v priestorovom usporiadaní súradnice a rozsah f funkcie sa pre každú dvojicu súradníc (x,y) nazýva intenzita obrazu. Šedotónové prevedenie obrazu sa používa pri monochromatických obrazoch a farebné snímky sú tvorené kombináciou jednotlivých dvojrozmerných snímok. Popis jednotlivých obrazov je uvedený v kapitole 2.2.

Základom obrazu je matica reálnych čísel o veľkosti $m \times n$, kde m je počet riadkov a n je počet stĺpcov v matici. Digitálny obraz je v Matlabe reprezentovaný ako

$$f = \begin{vmatrix} f(1,1) & f(1,2) \dots & f(1,n) \\ f(2,1) & f(2,2) \dots & f(2,n) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f(m,1) & f(m,2) \dots & f(m,n) \end{vmatrix} \quad (1)$$

kde f je funkcia obrazu a súradnice $(1,1)$ sú súradnicami prvého riadku a prvého stĺpca v matici obrazu [13].

2.1 Digitalizácia obrazu

Čidlá na vstup obrazovej funkcie, napr. ako televízna kamera, sú väčšinou zdrojom spojitého signálu. Aby sme obrazovú funkciu signálu mohli spracovať v počítači, musíme najskôr získať jej digitálny ekvivalent [12].

Digitalizácia spočíva vo vzorkovaní v matici $m \times n$ bodov obrazu a v kvantovaní spojitej jasovej úrovne každého vzorku do k intervalov. Vďaka kvantovaniu nadobúda jasová funkcia v digitalizovaných obrazoch celočíselné hodnoty. Čím jemnejšie je vzorkovanie (čím väčšie $m \times n$) a kvantovanie, tým lepšie je aproximovaný pôvodný spojitý obrazový signál.

Jednému vzorkovanému bodu odpovedá v digitalizovanom obraze obrazový element, tzv. *pixel* (*Picture element*). Z hľadiska ďalšieho spracovania digitálneho obrazu je obrazový element nedeliteľná najmenšia jednotka spracovania.

Ďalšou súčasťou digitalizácie je kvantovanie obrazovej funkcie. Amplitúda (rozdiel medzi maximom a minimom) vo vzorkovanom obraze musí byť pre spracovanie počítačom vyjadrená ako digitálny údaj. Počet kvantovacích úrovní má byť dostatočne veľký, aby boli presne vyjadrené jemné detaily obrazu, nevznikali falošné obrysy a aby sa citlivosť zariadenia blížila citlivosti ľudského oka. Väčšina systémov pre digitálne spracovanie obrazu používa kvantovanie do k rovnakých intervalov. Ak je pre reprezentáciu obrazového elementu používaných b bitov, tak počet úrovní jasu je $k = 2^b$. Obvykle sa používa 8 bitov na obrazový element [12].

2. 2 Rozdelenie obrazu

Podľa [13] obraz rozdeľujeme na štyri typy súborov a to:

- Intenzitný obraz
- Binárny obraz
- RGB
- Indexovaný obraz

Väčšina operácií spracovania čiernobieleho obrazu sa vykonáva pomocou binárneho alebo intenzitného obrazu.

Intenzitný obraz

Intenzitný obraz je dátová matica, ktorej hodnoty boli zmenšené o reprezentovaný intenzitu. Ak prvky intenzity obrazu sú z triedy *uint8* alebo triedy *uint16*, majú celočíselné hodnoty v rozsahu [0,255] a [0,65535]. Ak je obraz z triedy typu *double*, hodnoty sú s pohyblivou desatinnou čiarkou. [13].

Binárny obraz

Binárny obraz je logické pole vytvorené z núl a jednotiek. Reprezentuje informácie o obrazovom bode jedným bitom. Bielu farbu sú označené jednotky, ktoré naznačujú objekty (to, čo nás zaujíma) a čiernou farbou sú označené nuly, tj. pozadie. Iba v špecializovaných meracích systémoch sa jedna vzorka obrazu reprezentuje 10 a viac bitmi [13].

RGB

RGB je farebný obraz tvorený $m \times n \times 3$ z rad farebných pixlov, kde každá farba pixlu je trojica zodpovedajúca červenej, zelenej a modrej zložke RGB obrázku na konkrétne priestorové umiestnenie. Obraz RGB chápeme ako ukladanie troch šedých stupňov na seba. Prvá je červená, potom zelená a nakoniec modrá farba ako vstup na farebný monitor, ktorý bude produkovať farebné zobrazenie na obrazovke. Prevodom troch obrazov vo forme RGB vzniknú farebné obrázky červenej, zelenej a modrej zložky obrazu. Ich rozloženie do tried určuje rozsah hodnôt. Trieda dát z obrazu určuje jej rozpätie. Ak je RGB obraz z triedy typu *double*, jeho rozpätie je $[0,1]$. Podobne je rozpätie $[0,255]$ alebo $[0,65535]$ pre obrázok RGB triedy *unit8* alebo *unit16* [13].

Indexovaný obraz

Indexovaný obraz má dve zložky dátovej matice celých čísiel, a to X -ovú a farebnú mapu matice. Farebná mapa matice je $m \times 3$ pole z triedy *double* obsahujúca hodnoty s pohyblivou desatinnou čiarkou v rozsahu $[0,1]$. Dĺžka m mapy je rovná počtu farieb. Každý riadok mapy určuje červenú, zelenú a modrú zložku jednej farby. Indexovaný obraz používa "priame mapovanie" pixlu intenzity hodnôt z farebnej mapy. Farba každého pixlu je určená pomocou príslušnej hodnoty celočíselnej matice X ako ukazovateľa do mapy [13].

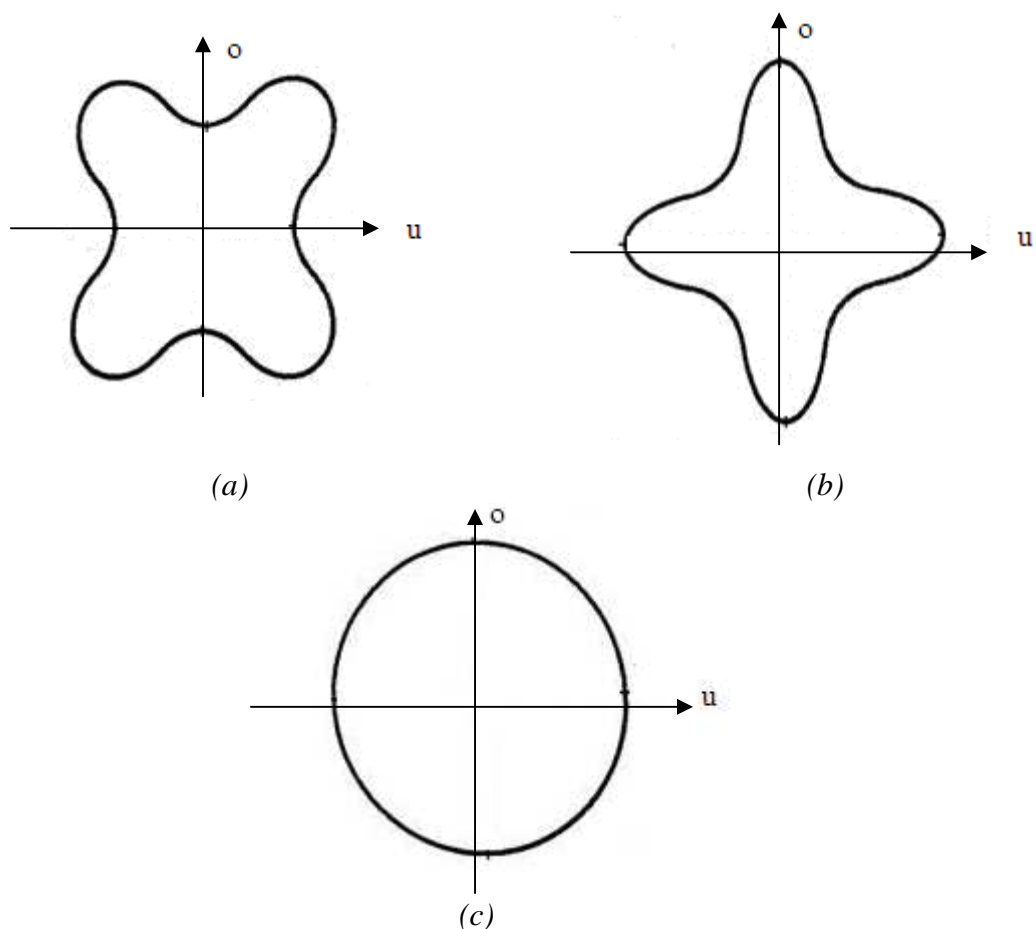
V tejto práci sa prevažne bude pracovať s obrazmi v úrovniach šedi, farebné obrazy budú prevedené na šedotónové.

3 Anizotropia

Pojem anizotropia v sebe zahŕňa jav spočívajúci v tom, že materiál má v rôznych smeroch rôzne vlastnosti. Určitý stupeň anizotropie sa vyskytuje u všetkých textilných útvarov a je možné ho sledovať na konkrétnom materiáli alebo na jeho vlastnostiach. Opačkom anizotropie je izotropia. Usporiadanie jednotlivých zložiek (vlákien) v textilnom materiáli má rovnaký vplyv ako jeho vlastnosti. Preto je dôležité skúmať štruktúru a orientáciu jednotlivých zložiek (vlákien) [14].

Anizotropia znamená, že sa niektorá z vlastností materiálov neprejavuje vo všetkých smeroch rovnako, resp. v rôznych smeroch nadobúda rôzne hodnoty. Ide o smerové

závislosť tejto vlastnosti. Smerová závislosť vlastností plošných textílií sa vyjadruje graficky zobrazením v polárnom diagrame a to tak, že na ramená polárneho diagramu v daných smeroch vynesieme hodnoty nameraných vlastností. Čím väčšie sú rozdiely medzi hodnotami, tým väčšie je predĺženie diagramu a tým anizotropnejší je materiál. Na obrázku č. 1 sa dá vidieť anizotropia dvojsovej tkaniny. Obrázok č. 1 (a) predstavuje polárny diagram v tvare štvorlístka a obrázok č. 1 (b) model počiatocnej deformácie. Pokiaľ je vlastnosť textílie vo všetkých smeroch rovnaká, resp. nie je citlivá na zmenu smeru, polárny diagram sa blíži kruhu a ide o izotropný materiál, ako je vidieť na obrázku č. 1 (c) [15].



Obrázok č. 1 Anizotropia dvojsovej tkaniny, (a) polárny diagram v tvare štvorlístka, (b) model počiatocnej deformácie, (c) polárny diagram izotropného materiálu.

Anizotropia sa dá hodnotiť kvantitatívne parametrom nazývaným stupeň anizotropie S_α , ktorý je vyjadrený v literatúre [15] ako

$$S_\alpha = \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{(V_{\max} + V_{\min})} \quad (2)$$

V_{max} a V_{min} sú maximálna a minimálna hodnota vlastnosti V v závislosti na smere. Stupeň anizotropie S_α nadobúda hodnoty intervalu (0,1). Keď je $V_{min} = 0$, materiál je dokonale anizotropný, ako je možné vidieť na obrázku č. 1 (a) a hodnota $S_\alpha = 1$. Hodnota S_α sa môže stanoviť u tých vlastností textílií, ktoré sa dajú vyjadriť číselne. Pomocou S_α je možné lepšie porovnávať rôzne materiály, resp. ich vlastnosti.

3. 1 Charakteristika vlákenných systémov

Za rovinné vlákenné systémy sa považuje pavučina, listy, spleti a tenké vrstvy objemných textílií. Pavučina je tenká vlákenná vrstva (plošná textília) vytvorená zo samostatných vlákien zobraňovaných z mykacieho stroja. Väčšinou je zhrňovaná do prameňa, poprípade delená na prúžky, z ktorých sa vytvárajú predpriadze. Ďalším vlákenným systémom môže byť rúno, ktoré je tiež vlákennou vrstvou, vytvorenou z chumáčikov alebo jednotlivých vlákien spojených prirodzenou súdržnosťou [16].

Medzi plošné textílie patria tkaniny, pleteniny a netkané textílie. Tkanina je plošná textília vytvorená z dvoch vzájomne kolmých sústav nití, osnovy a útku, ktoré sú navzájom previazané väzbou tkaniny. Pletenina je plošná textília vyrobená z nití vytváraním a vzájomným prepletaním očiek usporiadaných do stĺpcov a riadkov. Pleteniny sa rozdeľujú na záťažné a osnovné.

Netkaná textília je vlákenná vrstva vyrobená z jednosmerne alebo náhodne orientovaných vlákien. Je spevnená mechanicky, chemicky alebo termicky. Vlákenná vrstva sa môže kombinovať s plošnými textíliami (tkaniny, pleteniny) alebo netextilnými plošnými útvarmi, akými sú napríklad fólie z plastických hmôt, z kovov a pod. [16]. U netkaných textílií sa predpokladá, že budú anizotropné, keďže sú z náhodne usporiadaných vlákien. V tejto práci sa bude skúmať ich smerová orientácia v ploche. U netkaných textílií je dôležitý aj ich technologický postup. Základný popis technológií výroby netkaných textílií bude popísaný v ďalšom odstavci.

Netkané textílie mechanicky viazané sú vyrobené z východzej vlákenej vrstvy mechanickým previazaním jednotlivých vlákien alebo ich zväzkov, alebo sústavou viazaných nití.

Netkané textílie pojené sú vyrobené z východzej vlákenej vrstvy a pojiva adhéziou (adhézia je súhrn chemických a fyzikálnych síl pôsobiacich medzi dvoma látkami,

medzi povrchom vlákien a povrchom pojiva). Pojivo môže byť vo forme tuhej (vlákna, prášok, nite, fólie, mriežka, sieťovina), alebo vo forme roztoku. Typu a forme pojiva je prispôsobená technológia zariadenia pre nanášanie, pojenie roztokom a pod.

Netkané textílie vrstvené vznikajú spojením minimálne dvoch textilných vrstiev alebo textilnej vrstvy a iného textilného alebo netextilného útvaru. Spojenie môže byť mechanické, chemické, termické alebo kombináciou uvedených spôsobov.

Vláknenná vrstva môže byť pripravená v rôznych hrúbkach, orientáciách a pevnostiach. Rozlišujeme:

- Pavučinu snímanú z mykacieho stroja.
- Rúno, ktoré predstavuje niekoľko združených pavučín alebo rúno vytvorené mechanicky a pod.
- List vytvorený z naplavenej suspenzie krátkych vlákien a následného odstránenia kvapaliny.
- Spleť z nekonečných vlákien alebo nití.

Postup výroby netkaných textílií začína v príprave vlákennej suroviny a vlákennej vrstvy. Vláknenná vrstva môže byť pripravovaná suchým alebo mokrým spôsobom. Po príprave vlákennej vrstvy nasleduje jej spevnenie. Spevňovanie sa delí na mechanické, chemické, termické, prípadne ich kombináciou. Spevnená vrstva netkanej textílie sa ďalej upravuje podľa požiadaviek konečného výrobku [16].

4 Testovacia obrazová sada

Pre odhad smerového usporiadania vláknenných systémov bola vybraná testovacia obrazová sada vláknenných alebo iných objektových systémov. Testovacia obrazová sada obsahuje 18 obrázkov, ktoré zahŕňujú náhodne generované obrázky objektov, textúrne obrazy z Brodatzovy databázy textúr a reálne obrázky plošných textílií z Databázy textúr a textilných vzorov. Na testovaciu obrazovú sadu boli aplikované algoritmy pre odhad smerového usporiadania vláknenných systémov ako aj na porovnanie odhadu anizotropie s experimentálnou metódou.

Objektmi sa rozumejú tie časti obrazu, ktoré nás z hľadiska ďalšieho spracovania a analýzy obrazu zaujímajú. Tieto objekty v obraze odpovedajú konkrétnym objektom zobrazeného

(reálneho) sveta a mali by byť v kontraste s pozadím. Objekty sú väčšinou zobrazované bielou a pozadie čiernou farbou (v binárnych obrazoch). V šedotónovom prevedení obrazu sú biele objekty zobrazené svetlou a pozadie tmavou farbou v úrovniach šedi.

V textilnej praxi sa môžu za objekty považovať vlákna, zhľuky vlákien, priadze a pod. Systémom, ktorý obsahuje objekty, môžu byť vlákenné vrstvy, rúna, tkaniny a pleteniny.

4. 1 Generované obrázky

Náhodne generované obrázky boli získané simuláciou v programovacom jazyku Matlab a v ďalšom texte budú označené písmenom *G*. Ide o binárne obrazy náhodne generovaných objektov (v tomto prípade úsečiek) s možnosťou nastaviť počet objektov (úsečiek), dĺžku a orientáciu objektov, prípadne interval orientácie. V testovacej obrazovej sade sa nachádza 6 obrázkov náhodne generovaných úsečiek. Ide o binárne obrazy s rovnakým počtom úsečiek a to 50.

Obrazy majú veľkosť 300 x 300 pixlov. Na obrázku č. 2 (G1) majú úsečky orientáciu 90°, a na obrázku (G2) orientáciu 0°. Obrázok č. 2 (G3) má objekty orientované v smere 135°. Obrázok č. 2 (G4) má objekty orientované v intervale uhlov 45° až 180° a obrázok č. 2 (G5) v intervale 45° až 135°. Na obrázku č. 2 (G6) majú objekty orientáciu v smere 45°. Všetky obrázky sú uložené vo formáte *jpg*. Zdrojový kód pre generovanie objektov vo forme úsečiek je uvedený v prílohe č. 1 vo forme m-funkcie (*generovanie.m*).

4. 2 Brodatzova databáza textúr

Album Brodatzova databáza textúr je dobre známa testovacia databáza obrazov pre hodnotenie algoritmov rozpoznávania textúr. Brodatzova databáza obsahuje 112 obrázkov náhodných aj pravidelných textúr. Obrázky sú voľne dostupné na webových stránkach [17]. Do testovacej obrazovej sady bolo vybraných 6 obrázkov a pre účely tejto diplomovej práce budú značené písmenom *B*.

Obrázok č. 2 (B1) zobrazuje pletivo s prevažujúcim smerom objektov v orientácii 0°. Obrázok č. 2 (B2) má objekty orientované do poloblúka. Obrázok č. 2 (B3) je tzv. ryžový papier, kde sú vlákna usporiadané náhodne do celého spektra smerov. Obrázok č. 2 (B4) a (B6) zobrazuje slamu väčšinou s preferujúcim smerom. Obrázok č. 2 (B6) zobrazuje objekty trávnatého typu taktiež usporiadané náhodne bez preferujúceho smeru. Obrázky

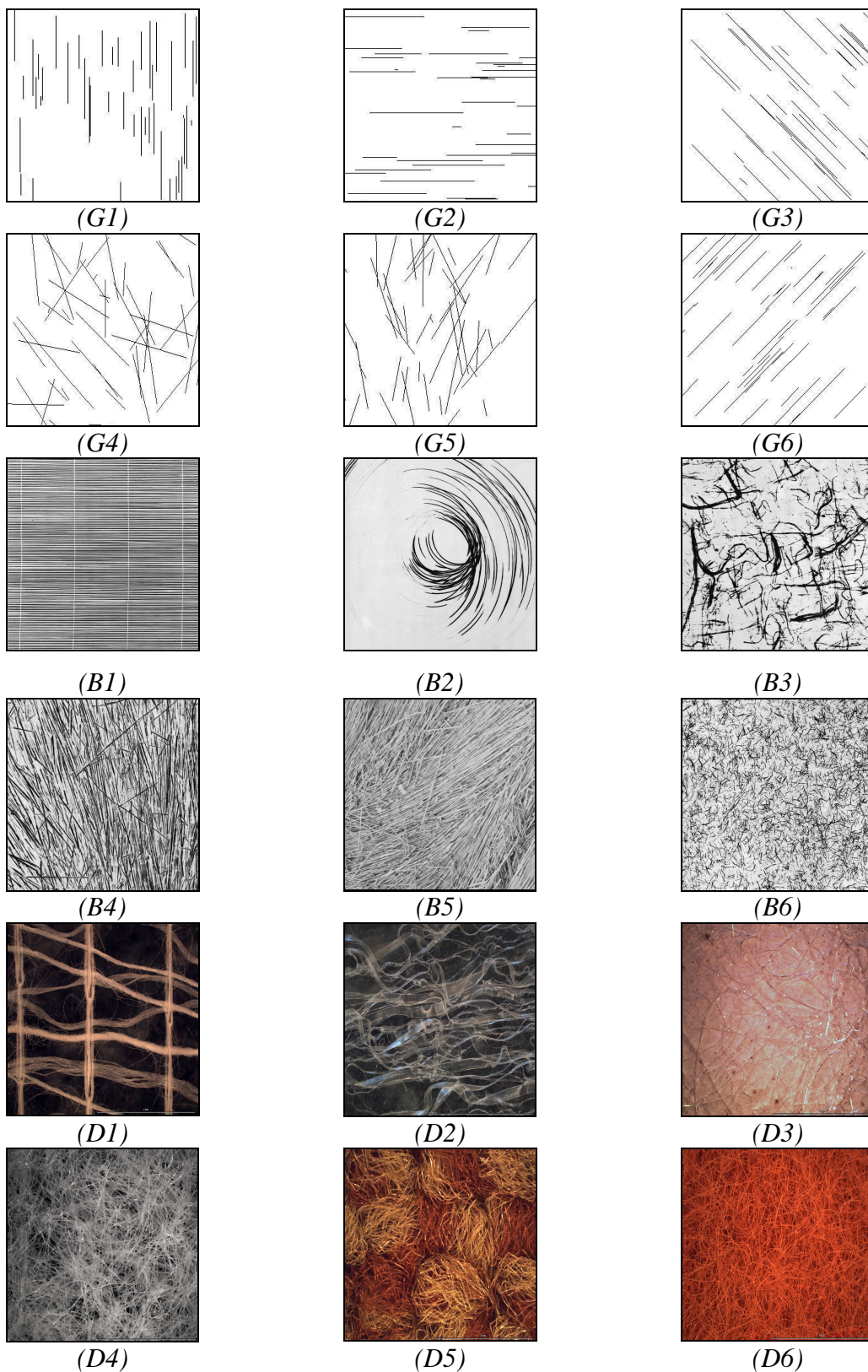
č. 2 (B1), (B2), (B3), (B5), (B6) majú veľkosť 640 x 640 pixlov a sú uložené vo formáte *gif*. Obrázok č. 2 (B4) má veľkosť 512 x 512 pixlov a je uložený vo formáte *tif*. Všetky obrázky sú v šedotónovom prevedení s počtom úrovní šedi 256.

4.3 Databáza textúr textílií a textilných vzorov

Obrázky označené písmenom *D* pochádzajú z Databáze textúr textílií a textilných vzorov. Táto databáza je dostupná v Univerzitnom Elearningovom Systéme (*UES*) [18] a je rozdelená do podkapitol. Pre účely testovacej obrazovej sady bolo vybraných 6 obrázkov z podkapitoly netkané textílie. Všetky obrázky sú veľkosti 1232 x 964 pixlov a sú uložené vo formáte *jpg*. Obrázky sú vo farebnom prevedení.

Obrázok č. 2 (D1) zobrazuje produkt vyrobený technológiou prepletania na stroji Malimo, orientovaný v pravidelných vertikálnych a horizontálnych smeroch. Obrázok č. 2 (D2) je vlákenná vrstva zo štepenej fólie s náhodne orientovanými vláknami. Obrázok č. 2 (D3) je netkaná textília, ktorej vlákenná vrstva je pripravená technológiou Melt-Blown. Vlákná na obrázku sú usporiadané náhodne a nemajú preferujúci smer. Filtračná netkaná textília na obrázku č. 2 (D4) je textília s náhodne orientovanými vláknami. Technológia prepletania je uplatnená na výrobku Schusspol, ktorý je zobrazený na obrázku č. 2 (D5), kde sú vlákna náhodne orientované. Obrázok č. 2 (D6) je podšívka Voltex vyrobená technológiou prepletania s náhodne orientovanými vláknami [18].

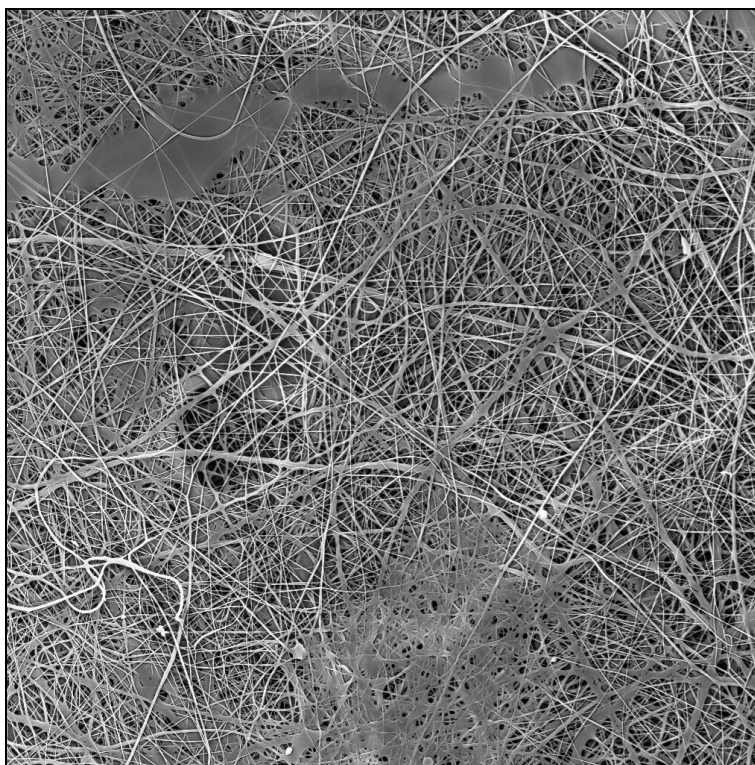
Na všetky textúrne obrazy, ktoré zahŕňujú štruktúry s náhodným či pravidelným usporiadaním a monochromatické obrazy z Brodatzovy databázy textúr s preferenciou smeru budú aplikované algoritmy pre popis anizotropie (smerového usporiadania). Farebné obrazy reálnych štruktúr, ktoré sú na obrázku č. 2 (D1) – (D6) budú prevedené na monochromatické obrazy.



Obrázok č. 2 Testovacia obrazová sada, (G1) - (G6) náhodne generované obrázky, (B1) - (B6) Brodatzova databáza textúr, (D1) - (D6) Databáza textúr textílií a textilných vzorov.

4. 4 Netkaná textília – pás

Pre účely určovania a testovania smerovej orientácie vlákenných systémov v určitej ploche materiálu boli vybrané 3 obrázky. Prvým z nich je obraz nanovláknien, zobrazený na obrázku č. 3. Obraz je získaný z rastrovacieho mikroskopu a bol získaný z webových stránok Katedry netkaných textílií [20]. Veľkosť obrazovej matice je 1016 x 1016 pixlov, čo v skutočnosti predstavuje 136 x 136 μm . V obraze je možné vidieť miesta s rovnomerným zastúpením nanovláknien do všetkých smerov, ako aj miesta, kde je roztečený polymér. Na týchto miestach nie sú žiadne nanovlákná a tým ani žiadny preferujúci smer.



Obrázok č.3 Obraz nanovláknien.

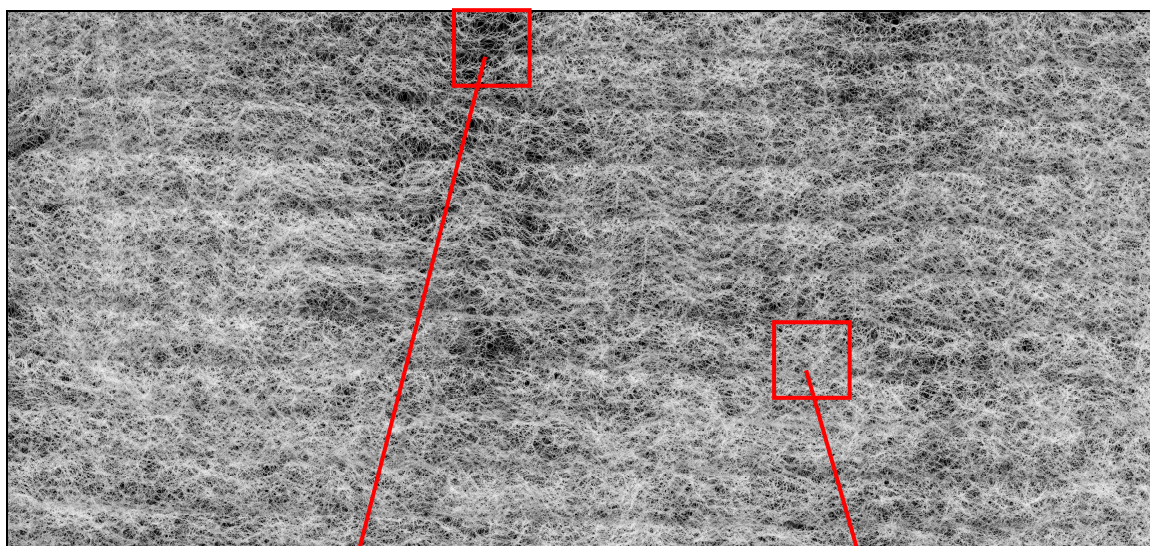
Ďalšími obrazmi pre testovanie algoritmov smerového usporiadania sú dve netkané textílie, ktoré sú zobrazené na obrázku č. 4 a obrázku č. 5. Netkané textílie boli snímané pomocou obrazovej analýzy LuciaTM, na ktorej je možné analyzovať makroskopické a mikroskopické obrazy.

LuciaTM je softvérový systém pre analýzu obrazu, ktorý umožňuje komunikáciu medzi snímacím zariadením (kamerou), snímacou kartou a počítačom. Výstupnou informáciou je obraz, tzv. mikrofotografia, ktorá je pripravená k ďalšiemu spracovaniu

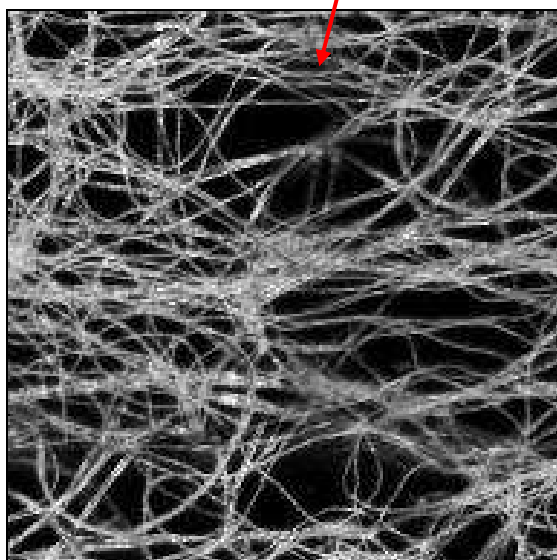
bud' v softvéri Lucia™, alebo v iných softvéroch. Spracovaním sa získajú farebné a digitálne informácie o skúmaných objektoch. Lucia™ používa pre uchovanie obrazovej informácie svoj vlastný formát tzv. *lim*, alebo sa dá priamo v systéme Lucia™ ukladať do štandardných obrazových formátov, akými sú napr. *jpg*, *bmp*, *tif*, *rlf*. Okrem iného sa dá systém použiť na vyhodnocovanie rôznych vlastností, napr. na zisťovanie strednej hodnoty priemeru vlákien zo snímok získaných i pomocou iného zariadenia než je popisovaný softvér. Ďalším prvkom softvérovej analýzy Lucia™ je jej makro analýza, ktorá sprostredkuje pohodlné a plynulé snímanie a vyhodnocovanie materiálu, kde sa nasnímajú sekvenčné obrazy, ktoré na seba nadväzujú [19].

Obraz netkanej textílie 1, ktorý bol snímaný systémom Lucia™, je možné vidieť na obrázku č. 4. Vzorka snímaného obrazu mala veľkosť 70 x 150 mm. Veľkosť obrazu po nasnímaní je 8364 x 4460 pixlov. Ide o netkanú textíliu vyrobenú zo štaplových vlákien a spevňovanú kalandrom. Pri spevňovaní kalandrom prebieha vlákenná vrstva s pojivom medzerou medzi dvojicu valcov, z ktorých jeden alebo oba sú vyhrievané. Medzi valcami dôjde ku stlačeniu vrstvy a k jej ohriatiu na takú teplotu, kedy sa pojivo začne topiť. Vplyvom tlaku je pojivo formované do tvaru topiacich miest. Následným ochladením dôjde ku spevneniu pojiva a vlákenej vrstvy. Netkaná textília 1 predstavuje náhodne usporiadané štaplové vlákna, ktoré sú v niektorých miestach viac, v iných menej spevnené kalandrom [16]. Na obrázku č. 4 (a) sú naznačené červeným rámom miesta výrezu netkanej textílie 1 s veľkosťou 200 x 200 pixlov, ktoré sú pre lepšiu predstavivosť o rozložení vlákien zväčšené na obrázku č. 4 (b) a (c).

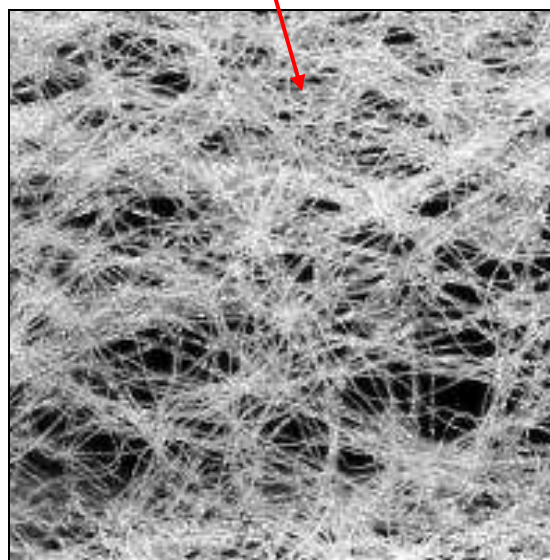
Netkaná textília 2 bola tiež snímaná na systéme Lucia™ a je možné ju vidieť na obrázku č. 5. Vzorka pri snímaní mala skutočnú veľkosť 100 x 100 mm a veľkosť obrazu po nasnímaní 12 000 x 12 000 pixlov. Príprava vlákenej vrstvy netkanej textílie 2 je technológiou Spun-Bond. Táto technológia sa prevádza tavením polyméru, väčšinou polypropylénu. Tento typ netkaných textílií sa používa v zdravotníctve. Pre potreby zdravotníctva by mala byť netkaná textília 2 rovnako pevná v celej ploche. Ako je vidieť na obrázku č. 5, na určitých miestach v ploche majú vlákna menšie zastúpenie. To môže ovplyvniť vlastnosti konečného výrobku [16]. Na obrázku č. 5 (a) sú červeným rámom označené výrezy o veľkosti 400 x 400 pixlov a na obrázku č. 5 (b) a (c) sú pre lepšiu predstavivosť zobrazené ich zväčšeniny.



(a)

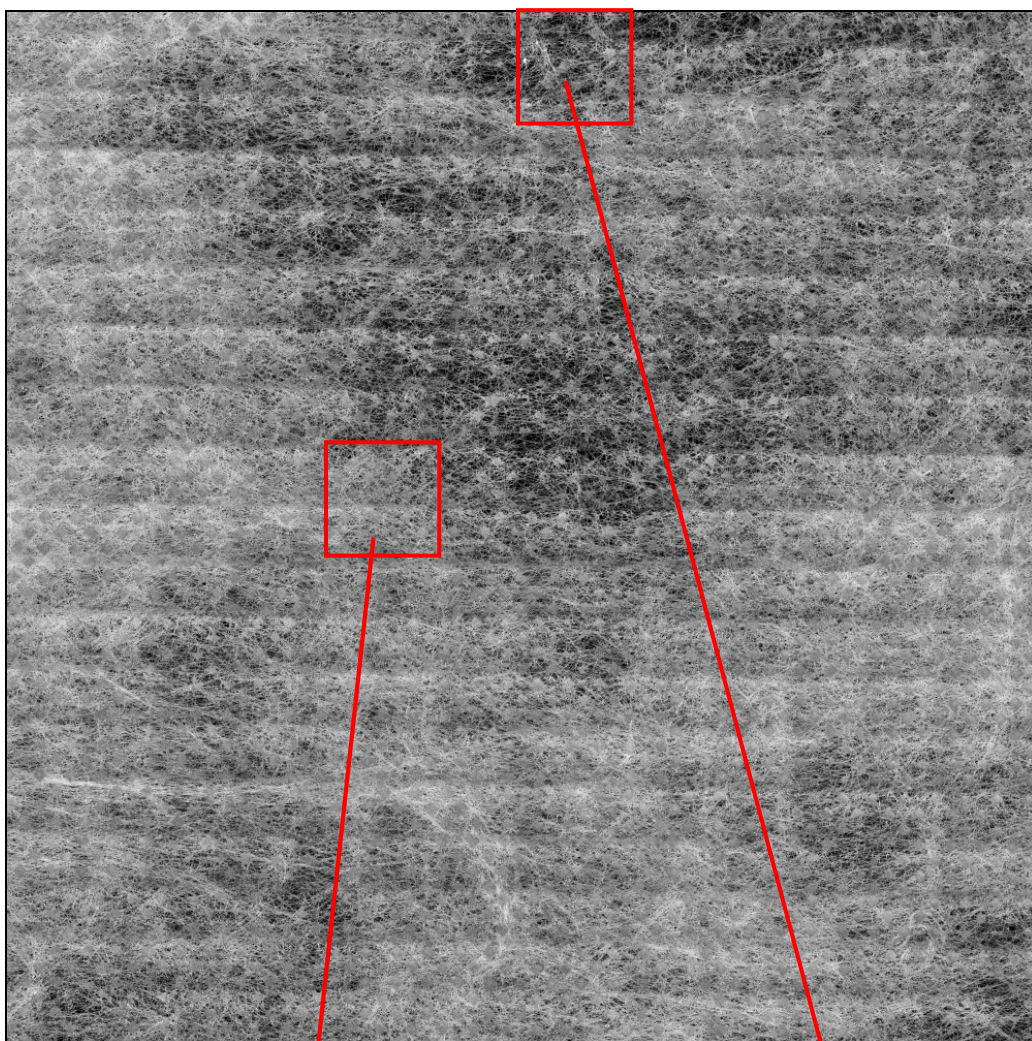


(b)

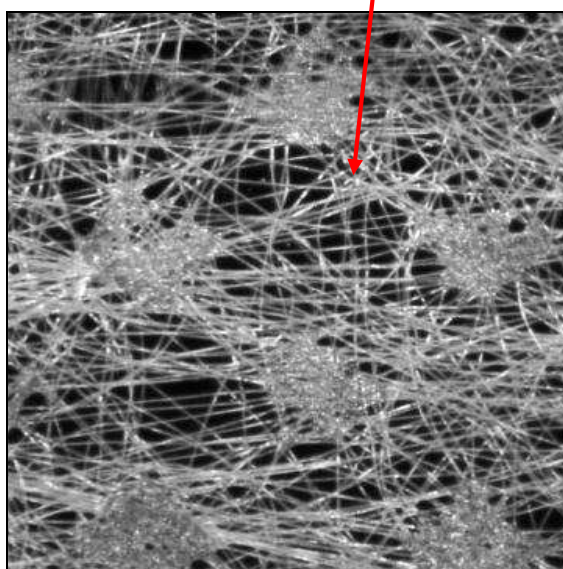


(c)

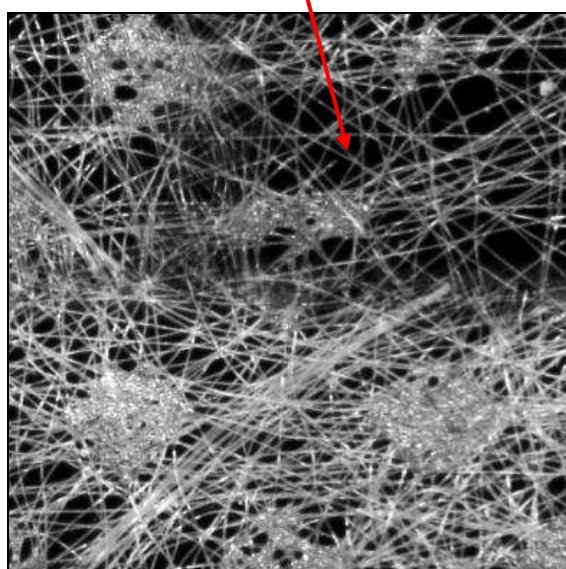
Obrázok č. 4 (a) Netkaná textília 1 s vyznačenými výrezmi,
(b) – (c) výrezy netkanej textílie 1.



(a)



(b)



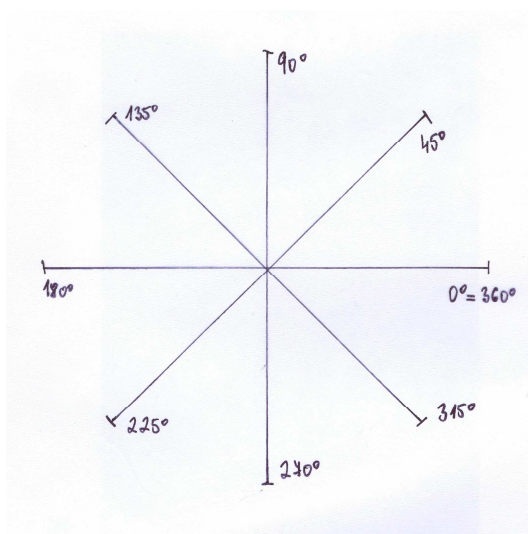
(c)

Obrázok č. 5 (a) Netkaná textília 2 s vyznačenými výrezmi, (b) – (c) výrezy netkanej textílie 2.

5 Vyhodnocovanie anizotropie

5.1 Experimentálna metóda určovania anizotropie

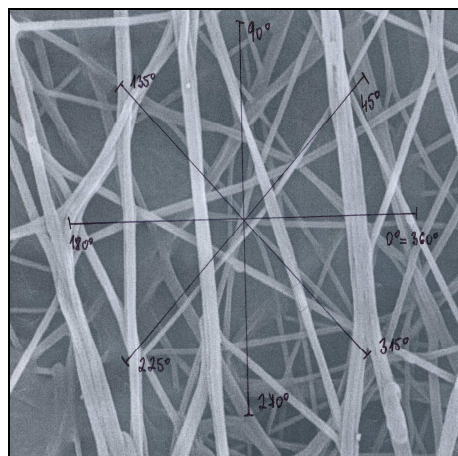
Plošná anizotropia je charakterizovaná uhlovou dĺžkou nite alebo vlákna $f(\alpha)$. Anizotropiou nite, ktorá má dĺžku L a leží v rovine, sa rozumie to, že sa do rovnako veľkého intervalu uhlov $(\alpha_i - \Delta\alpha/2, \alpha_i + \Delta\alpha/2)$ nedostanú úseky nite rovnakej dĺžky. Za nit' sa považujú vlákna a vlákenné systémy, akými sú napr. pavučiny, rúna a pod. Postup určovania smerovej orientácie vlákien experimentálnou metódou pomocou grafickej konštrukcie začína vo vytvorení siete uhlov. Metóda je navrhnutá autormi práce [1]. Postup určenia smerovej ružice grafickou metódou pomocou Steinerovho kompaktu je možné nájsť taktiež v práci [2]. Na transparentnú fóliu sa narysuje sieť uhlov. Autori metódy odporúčajú, že počet uhlov $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ by nemal byť viac ako 18. Pri väčšom n sú získané výsledky smerovej ružice veľmi citlivé na malé zmeny vstupných dát a metóda nie je dostatočne stabilná. Príklad siete uhlov v štyroch smeroch na transparentnej fólii je možné vidieť na obrázku č. 6, pre $n = 4$.



Obrázok č. 6 Sieť uhlov $n = 4$.

Na obraz objektového (vlákenného) systému, v tomto prípade obraz nanovlákieň, bola priložená transparentná fólia so sieťou uhlov podľa obrázku č. 7. Po priložení fólie na obraz nanovlákieň sa zisťoval počet priesečníkov v jednotlivých smeroch. Toto meranie je opakované na piatich miestach skúmaného obrazu. Štyrikrát sa meralo v rohoch a posledné meranie je zo stredu obrazu. Pri meraní sa nemenil smer orientácie vlákien ani

siete uhlov. Počty priesečníkov pre prvé až piate meranie sú uvedené v tabuľke č. 1. V poslednom stĺpci je uvedený priemer z jednotlivých meraní.

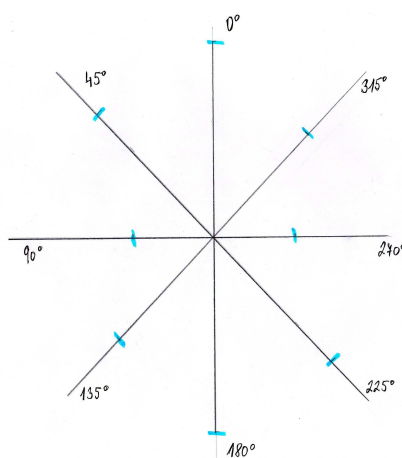


Obrázok č. 7 Priesečníky siete zo študovaným vlákenným materiálom.

Tabuľka č. 1 Počty priesečníkov x_i siete uhlov z obrazu nanovláken.

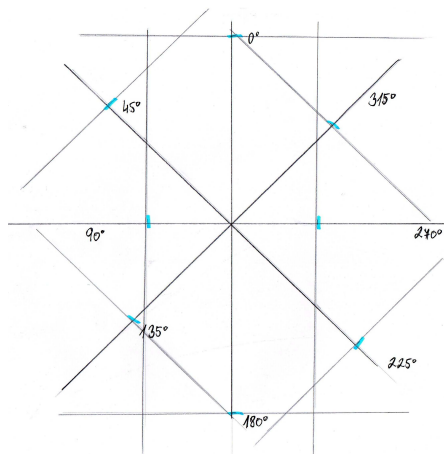
	1. meranie	2. meranie	3. meranie	4. meranie	5. meranie	Priemer
0°	14	9	8	10	12	10,6
45°	10	9	8	11	9	9,4
90°	7	3	2	5	11	5,6
135°	8	7	8	8	9	8

Výsledné priemery z jednotlivých meraní, tzv. počty priesečníkov x_i sa vynášajú do (novej siete uhlov) polárneho diagramu ako hodnoty ľubovoľných dĺžkových jednotiek. Polárny diagram počtu priesečníkov x_i sa pootočí oproti sieti uhlov o $\pi/2$. Vznikne tzv. priesečníková ružica zobrazená na obrázku č. 8.

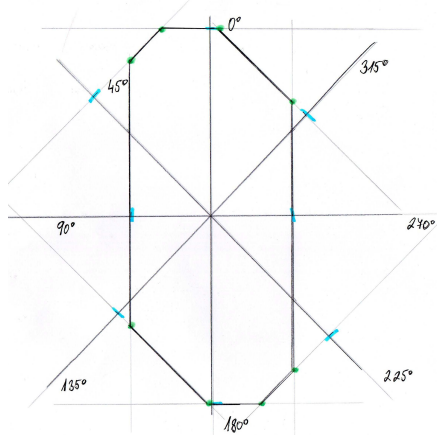


Obrázok č. 8 Priesečníková ružica s hodnotami priesečníkov.

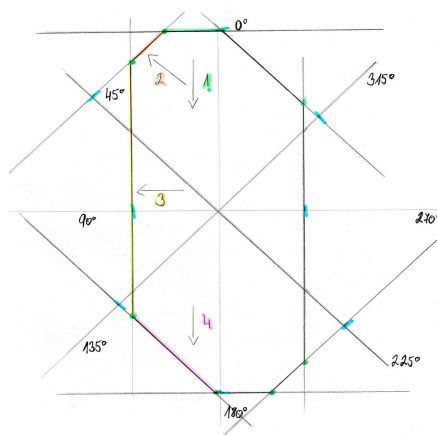
V koncových bodoch priesečníkovej ružice sú vztýčené kolmice ako je zobrazené na obrázku č. 9. Kolmice vymedzia v rovine mnohoúhelník. Mnohouhelník musí byť konvexný a stredovo symetrický. Na obrázku č. 10 (a) je vidieť konečný zhotovený mnohoúhelník nazývaný Steinerov kompakť.



Obrázok č. 9 Priesečníková ružica so vztýčenými kolmicami.



(a)



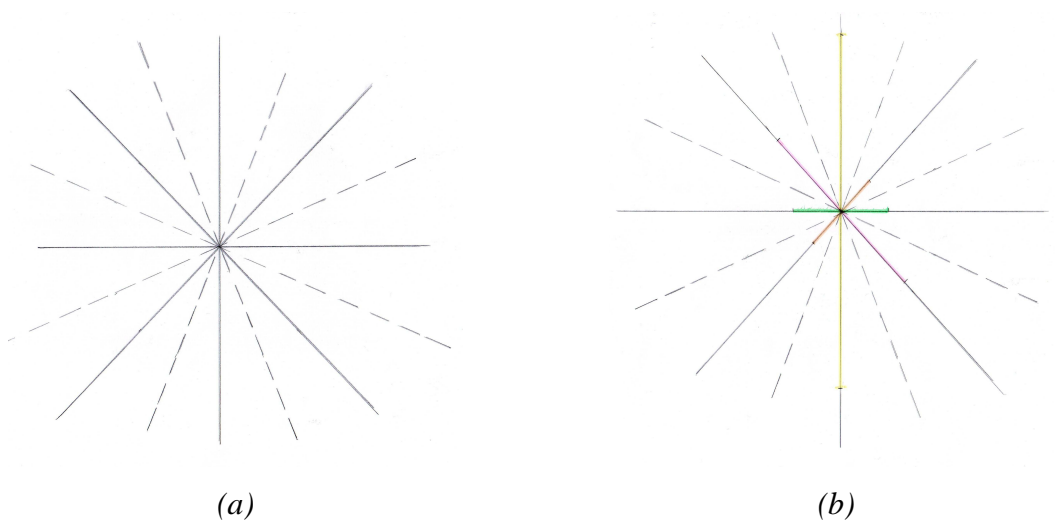
(b)

Obrázok č. 10 Steinerov kompakť.

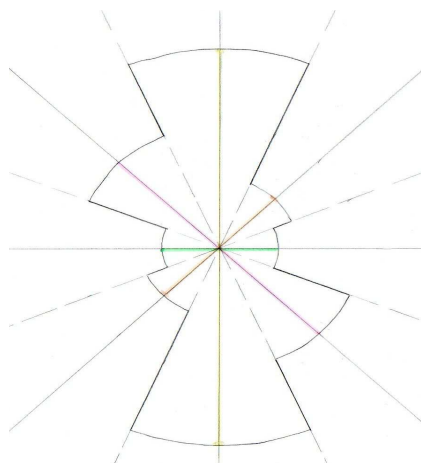
Vzdialenosti vrcholov mnohoúhelníka určujú hodnoty textúrnej funkcie pre smery súhlasné na smery strán Steinerovho kompaktu. Jednotlivé vzdialenosti sú farebne označené na obrázku č. 10 (b).

Konštrukcia smerovej ružice začína narysovaním základnej siete uhlov, ktorá je doplnená pomocnými uhlami na presnejšie vykreslenie smerovej ružice, obrázok č. 11 (a). Na ramená jednotlivých uhlov sa vynášajú vzdialenosti vrcholov zo Steinerovho kompaktu, ako je možné vidieť na obrázku č. 11 (b). Na obrázku č. 12 je výsledná konštrukcia smerovej ružice pre $n = 4$. Na obrázku č. 13 je smerová ružica toho istého

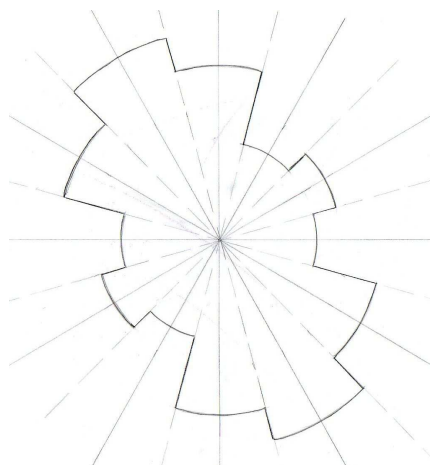
základného obrazu nanovláknien, ale s väčším počtom uhlov pre $n = 8$, čo predstavuje citlivejší odhad textúrnej funkcie [2].



Obrázok č. 11 (a) Konštrukcia smerovej ružice, (b) vzdialenosti jednotlivých uhlov.



Obrázok č. 12 Odhad textúrnej funkcie – smerová ružica pre $n = 4$.



Obrázok č. 13 Odhad textúrnej funkcie – smerová ružica pre $n = 8$.

5. 2 Spektrálny prístup

Grafický popis anizotropie vlákenných systémov alebo iných objektových systémov určovali autori v práci [9]. V práci je načrtnutá rýchla grafická metóda popisu smerového usporiadania objektov (odhad textúrnej funkcie $f(\alpha)$) vo forme smerovej ružice a histogramu. Metóda je založená na spektrálnom prístupe s využitím $2D$ DFT a bude podrobne popísaná v ďalšom texte.

5. 2. 1 Dvojrozmerná Fourierova transformácia

Dvojrozmerná diskretná Fourierova transformácia charakterizuje povrch obrazu na základe frekvenčných komponent. Periodicky opakujúce sa príznaky, ako štruktúrne línie, môžu byť pozorované z hodnoty frekvenčných komponent. Sú ľahko identifikovateľné ako vysoká koncentrácia energie frekvenčných komponent v obraze Fourierovho frekvenčného spektra. Fourierovo spektrum slúži k popisu smerovosti periodických alebo takmer periodických vzorov v monochromatických obrazoch textúry. Autori práce [9] ukázali, že Fourierovo spektrum je vhodné taktiež k popisu anizotropie náhodných textúr. Fourierova transformácia je závislá na rotácii, tzn. rotácii originálneho obrazu, kde podľa daného uhlu bude frekvenčná rovina otočená o ten istý uhol. Transformácia horizontálnych smerov (prevažujúcich smerov jasových rozhraní v obrázku) v pôvodnom obraze sa javí ako vertikálny smer v obraze spektra. Smery v pôvodnom obraze a ich transformácia v obraze spektra sú navzájom ortogonálne. Táto skutočnosť môže byť využitá na vyhodnocovanie pravidelných ako aj náhodných štruktúr [21].

Ak $f(x,y)$ je obrazová funkcia pre $x = 0,1,2,...,m - 1$ a $y = 0,1,2,...,n - 1$, kde $m \times n$ znamená veľkosť obrazu. Dvojrozmerná diskretná Fourierova transformácia $2D$ DFT (*2 Dimensional Discrete Fourier Transforms*) označovaná ako $F(u,v)$ je daná vzťahom:

$$F(u,v) = \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x,y) e^{-j2\pi(ux/m + vy/n)} \quad (3)$$

pre $u = 0,1,2,...,m - 1$ a $v = 0,1,2,...,n - 1$. Frekvenčná oblasť je súradnicový systém v rozsahu $F(u,v)$ s frekvenčnými premennými u a v . Analogicky je definovaná priestorová oblasť zo súradnicovým systémom v rozsahu $f(x,y)$, kde x a y sú priestorové premenné. Pravouhlá oblasť $m \times n$ je definovaná pomocou $u = 0,1,2,...,m - 1$ a $v = 0,1,2,...,n - 1$ a je

nazývaná frekvenčný pravouholník. Z toho vyplýva, že frekvenčný pravouholník má rovnaký rozmer ako vstupný obraz. Inverzná diskretná Fourierova transformácia *2D IDFT* (*2 Dimensional Inverse Discrete Fourier Transforms*) má tvar:

$$f(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{u=0}^{m-1} \sum_{v=0}^{n-1} F(u, v) e^{j2\pi(ux/m + vy/n)} \quad (4)$$

pre $x = 0, 1, 2, \dots, m-1$ a $y = 0, 1, 2, \dots, n-1$. Ak je daná $F(u, v)$ pomocou *2D IDFT*, získame $f(x, y)$. Funkčné hodnoty $F(u, v)$ sa nazývajú Fourierove koeficienty rozvoja. Pretože maticové indexy v Matlabe začínajú 1, $F(1, 1)$ a $f(1, 1)$ korešpondujú s $F(0, 0)$ a $f(0, 0)$. Hodnota transformácie v počiatku frekvenčnej oblasti $F(0, 0)$ sa nazýva *DC* komponenta Fourierovej transformácie (*DC – Direct Current*). Hodnota $F(0, 0)$ je ekvivalentná $m \times n$ krát priemerná hodnota šedi $f(x, y)$ [13].

Ak $f(x, y)$ je reálna funkcia, jej transformácia je funkcia komplexná. Pre účely vizuálnej analýzy je vhodné spočítať jej spektrum (hodnotu $F(u, v)$) a zobrazit' ako obraz. Nech $R(u, v)$ a $I(u, v)$ reprezentujú reálnu a imaginárnu časť $F(u, v)$. Fourierovo spektrum je potom definované ako:

$$|F(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)}. \quad (5)$$

Fázové spektrum transformácie je definované:

$$\phi(u, v) = \tan^{-1} \left(\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right). \quad (6)$$

Výkonové spektrum (alebo výkonová spektrálna hustota) je definované ako druhá mocnina hodnoty $|F(u, v)|$:

$$P(u, v) = |F(u, v)|^2 = R^2(u, v) + I^2(u, v). \quad (7)$$

Pre účely zobrazenia obrazu sa nerozlišuje či sa zobrazuje Fourierovo spektrum $|F(u, v)|$ alebo výkonové spektrum $P(u, v)$. Dynamický rozsah hodnôt spektra je ale príliš veľký, preto je pre $P(u, v)$ výkonové spektrum prevedená logaritmická transformácia v úrovniach šedi, ktorá je definovaná [13]

$$P(u, v) = \log(1 + |F(u, v)|^2). \quad (8)$$

Príklad zobrazenia originálnych textúrnych obrazov a obrazov výkonového spektra je možné vidieť na obrázku č. 15 (a1) – (a3) a obrázku č. 15 (b1) – (b3). Výkonové spektrum je zobrazené ako obraz s počtom v úrovni šedi 256, kde vysoké hodnoty frekvenčných komponent reprezentujú svetlé pixle. Na obrázku č. 15 (a2) a (b2) je vidieť rozloženie vysokých hodnôt frekvenčných komponent v obraze spektra. Obraz je pootočený oproti rozloženiu objektov v originálnom obraze o 90° .

5. 2. 2 Odhad smerovej orientácie pomocou polárneho diagramu

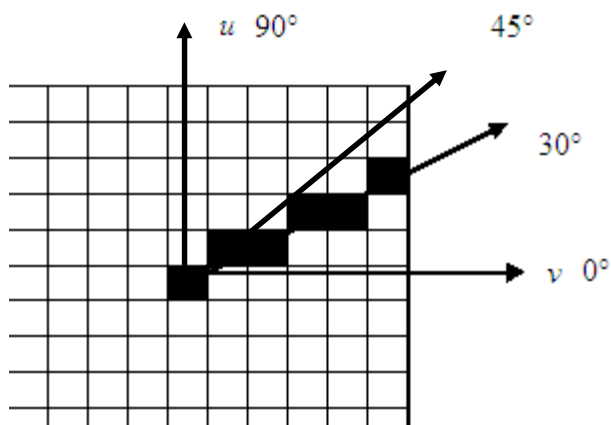
Ako už bolo spomenuté vyššie, vlastnosti Fourierovej transformácie je možné využiť pre odhad anizotropie vlákenných systémov. Výstupom metódy je rýchla grafická reprezentácia smerového rozloženia objektov ako odhad anizotropie $f(\alpha)$ vo forme smerovej ružice. Náčrt metódy je uvedený v nasledujúcom texte.

Uvažuje sa o štvorcovej matici s rozmermi $m \times n$. Z dôvodu presného stanovenia počiatku Fourierovho spektra je vhodné, ak m je nepárne číslo. Vstupný obraz je preškálovaný do úrovne šedi. Odhad funkcie $f(\alpha)$ je potom väčší ako suma všetkých frekvenčných komponent z Fourierovho spektra normovaný hodnotou $|F(0,0)|$. Suma frekvenčných komponent S_α v smerovom vektore je daná vzťahom

$$S_\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{(m+1)/2} |F(u, v)|_i}{|F(0,0)|}, \quad (9)$$

kde uhol α zvierá uhol medzi smerovým vektorom a osou u . $|F(u, v)|$ je frekvenčná komponenta smerového vektora so súradnicami (u, v) .

Fourierovo spektrum je symetrické podľa počiatku, preto je postačujúce sčítat frekvenčné komponenty smerového vektora závislého na α v intervale $(0, \pi/2)$. Na obrázku č. 14 je grafické zobrazenie súradníc smerového vektora u a v . DC komponenta je počiatok frekvenčnej domény $F(0,0)$ a taktiež reprezentuje počiatok súradnicovej sústavy. Pre odhad smerovej ružice, kde hodnota S_α je vynesená do polárneho diagramu a následne do histogramu.

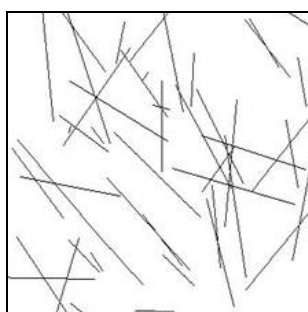


Obrázok č. 14 Súradnice smerového vektora

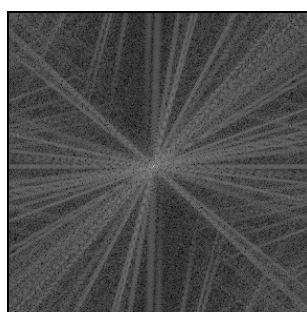
$$0 \leq \alpha < \frac{\pi}{4} \rightarrow v = u \cdot \tan \alpha \quad (10)$$

$$\frac{\pi}{4} < \alpha \leq \frac{\pi}{2} \rightarrow u = \frac{v}{\tan \alpha}$$

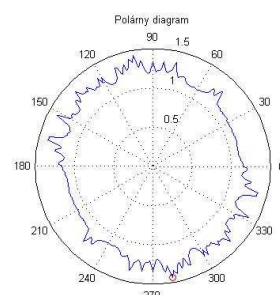
Príklad odhadu smerovej ružice s použitím $2D$ DFT je možné vidieť na obrázku č. 15 (c1) – (c3). Červený krúžok v polárnom diagrame predstavuje jeho maximum v danom smere a prevažujúci smer v objekte. Výhodou tejto metódy je jej rýchlosť a možnosť sledovať smerové rozloženie objektov s uhlovým krokom 1° . Táto metóda je navrhnutá autormi [9] a jej funkcia je uvedená v prílohe č. 1 vo forme m-funkcie.



(a1)



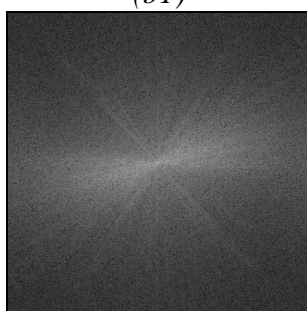
(b1)



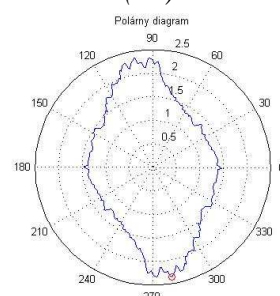
(c1)



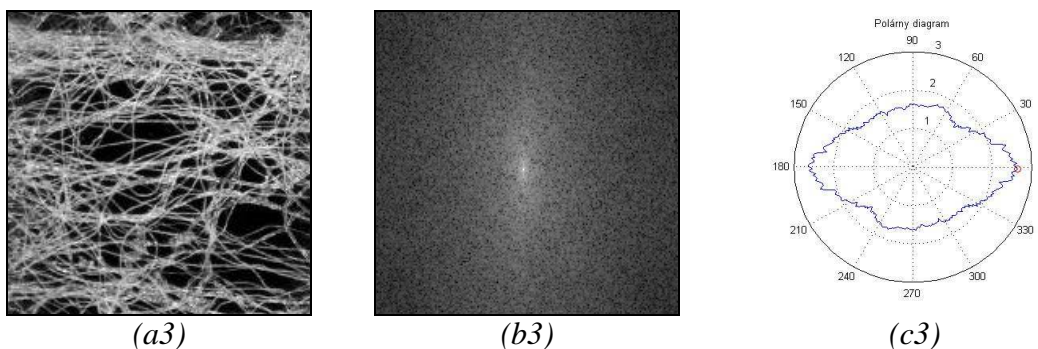
(a2)



(b2)



(c2)



(a3) (b3) (c3)
 Obrázok č. 15 (a1) - (a3) Obrazy textúr, (b1) - (b3) výkonové spektrum,
 (c1) - (c3) polárny diagram.

5. 2. 3 Horizontálny a vertikálny histogram

Autori v práci [6] uviedli metódu vyhodnocovania stupňa materiállovej deformácie štruktúry tvorenej predĺženými zrnami pomocou Fourierovej transformácie. V práci sa využíva fakt, že anizotropia Fourierovej transformácie $F(u,v)$ premieta anizotropiu štruktúry v priestorovom obraze. Fourierovo spektrum $|F(u,v)|$ alebo výkonové spektrum $P(u,v)$ je jednoduchšie na vyhodnocovanie takýchto štruktúr než vyhodnocovanie priamo originálneho obrazu a poskytuje detailnejšie informácie o deformovanej štruktúre. Výsledkom deformácie je predĺženie zŕn v jednom smere a skrátenie v smere druhom. Autori v práci načrtli dve metódy popísané v ďalšom texte. Obidve metódy využívajú obraz Fourierovej transformácie, ktorý je pomocou operácie prahovania prevedený na binárny obraz.

Prahovanie je určenie konštanty, ktorá oddelí objekty od pozadia a to transformáciou vstupného obrazu f na výstupný (segmentovaný) binárny obraz g , podľa vzťahu

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{pre } f(x,y) \geq T, \\ 0 & \text{pre } f(x,y) < T, \end{cases} \quad (11)$$

kde T je vopred určená konštanta nazývaná prah. $g(x,y)$ sa rovná 1 pre obrazové objekty patriace po segmentácii objektom a $g(x,y)$ sa rovná 0 pre pixle, ktoré patria pozadiu. Hodnotu prahu je možné určovať pokusom alebo pomocou metódy automatického určovania prahu.

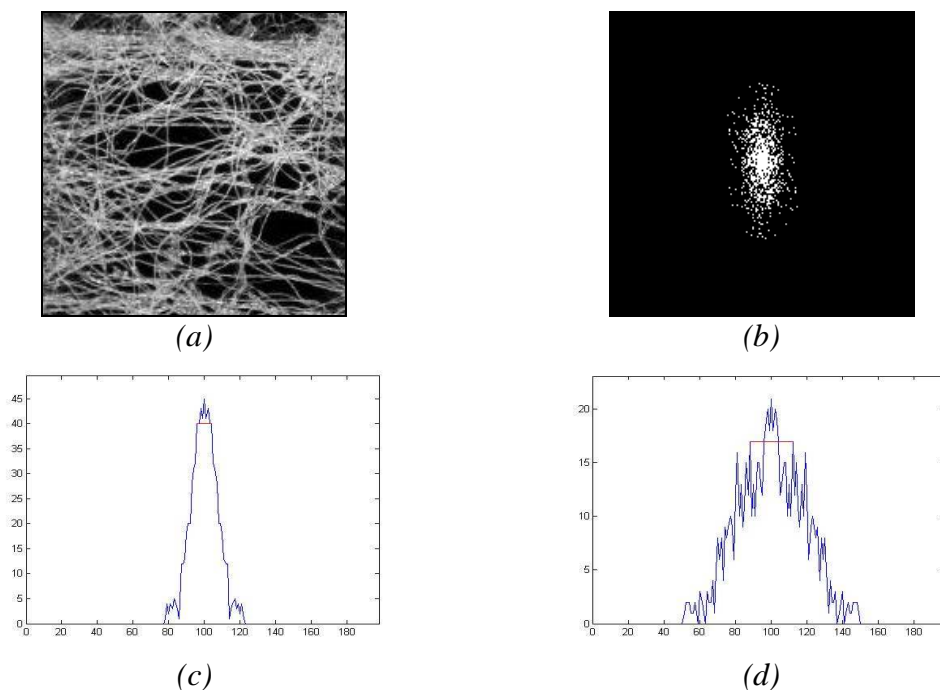
Z takýchto binárnych obrazov sa potom vyhodnotí stupeň materiállovej deformácie.

Metóda prvá je založená na výpočte horizontálneho a vertikálneho histogramu z binárneho obrazu Fourierovho spektra. Horizontálny, resp. vertikálny histogram je vypočítaný ako počet bielych pixlov v riadku, resp. v stĺpci. Potom je získaná šírka hlavného vrcholu v 70.-ich % výšky. Miera deformácie je potom odhadnutá pomerom ako šírka hlavného vrcholu horizontálneho a vertikálneho histogramu. Minimálna hodnota deformácie je 1.

$$D = \frac{\max(H,V)}{\min(H,V)} \quad (12)$$

Ako príklad je uvedený obraz z výrezu netkanej textílie 1 na obrázku č. 16 (a). Jeho výkonové spektrum prahované hodnotou 0,5 získané pomocou $2D$ DFT je vidieť na obrázku č. 16 (b). Výška horizontálneho a vertikálneho histogramu bola nastavená subjektívne na 80 % a histogramy sú na obrázku č. 16 (c) a (d). Červenou čiarou sú zobrazené šírky hlavných vrcholov histogramov nastavené vo výške 80 %. Šírky hlavných vrcholov jednotlivých histogramov pre ďalšie príklady sú uvedené v tabuľke č. 2. V uvedenom príklade bude miera deformácie

$$D = \frac{\max(8,24)}{\min(8,24)} = \frac{24}{8} = 3. \quad (13)$$



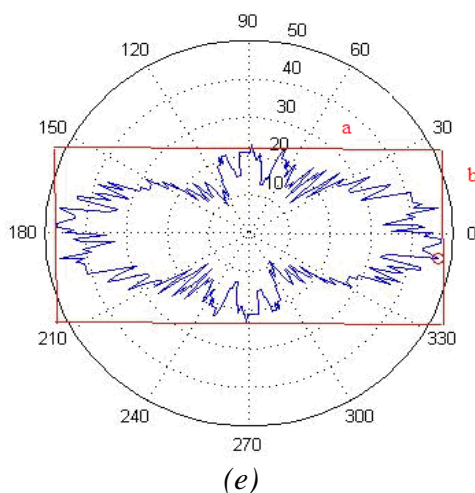
Obrázok č. 16 (a) Výrez z netkanej textílie 1, (b) oprahované výkonové spektrum, (c) horizontálny histogram, (d) vertikálny histogram.

5. 2. 4 Histogram v polárnych súradniciach

Druhým spôsobom je zisťovanie histogramu v polárnych súradniciach. Histogram sa vypočíta ako počet bielych pixlov zo stredu obrazu prahovaného spektra na každý smer (0° až 360°). Hodnoty sú vynesené do polárneho diagramu. Potom je vytvorený uzavretý pravouholník a tzv. tvarový faktor označovaný SF , vypočítaný ako pomer strán uzavretého pravouholníka. Minimálna hodnota tvarového faktoru je 1. Hodnota SF blízka 1 znamená malé deformácie. SF sa počíta ako

$$SF = \frac{\max(a,b)}{\min(a,b)}, \quad (14)$$

kde a a b sú strany obdĺžnika. Obrázok č. 17 zobrazuje histogram v polárnych súradniciach a červenou farbou je zobrazený uzavretý obdĺžnik.

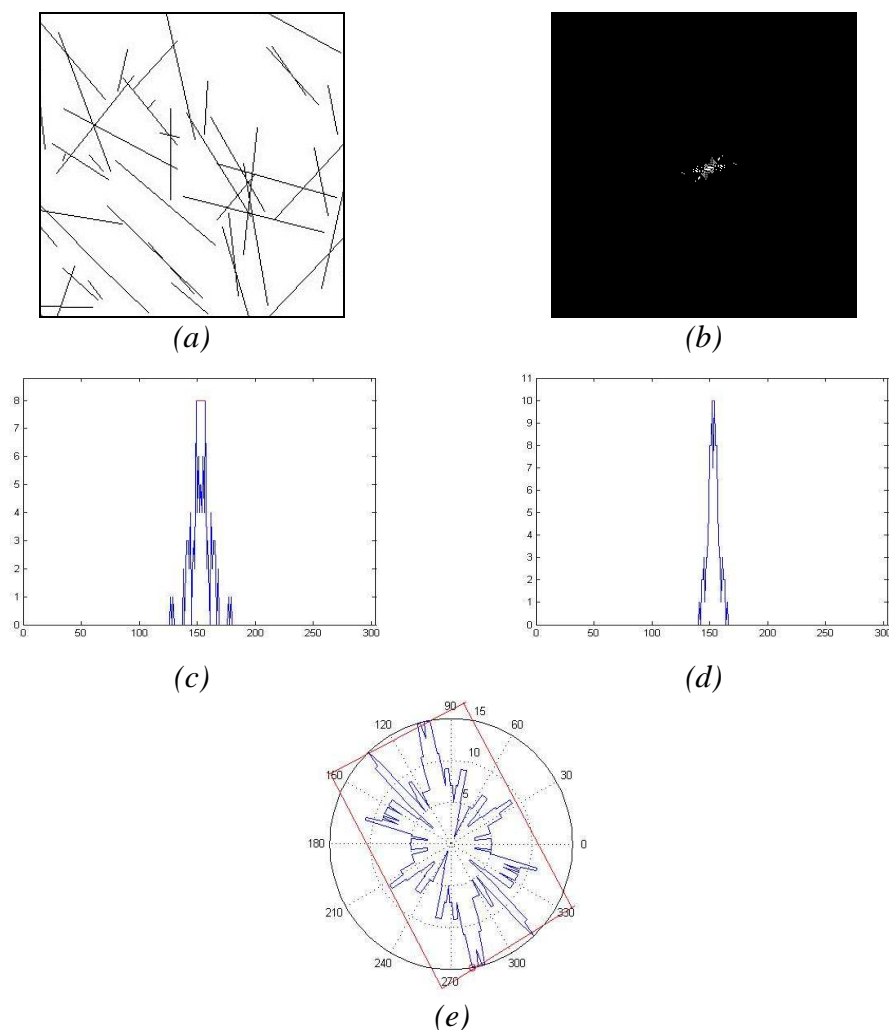


Obrázok č. 17 Histogram v polárnych súradniciach s uzavretým obdĺžnikom.

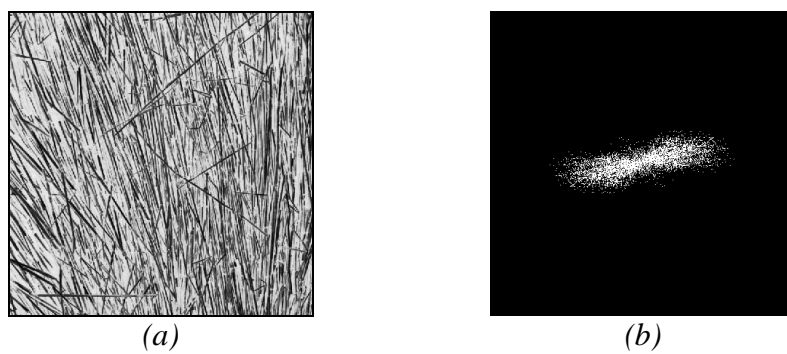
Tabuľka č. 2 Číselné parametre histogramov.			
	obrázok 16	obrázok 18	obrázok 19
H/V	0,3	4	10
D	3	4	10
SF	2,2	2,12	2,22

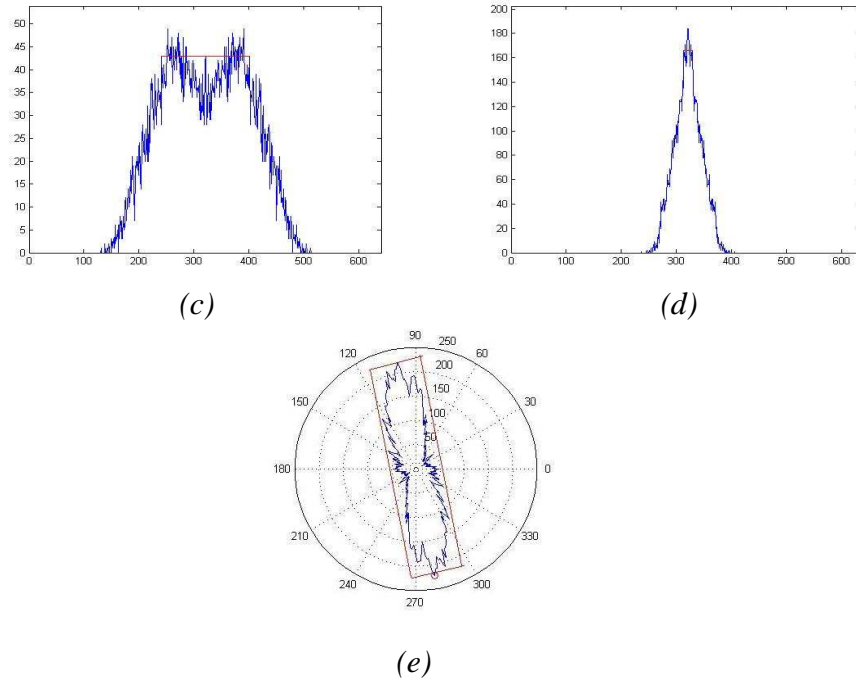
Na obrázkoch č. 18 a 19 sú uvedené ďalšie príklady vyhodnocovania deformácie pomocou histogramov na obrázkoch z testovacej obrazovej sady a výrezu z netkanej textílie 1. Obrázok č. 18 a 19 (b) predstavuje binárny obraz Fourierovho spektra, (c) a (d) vertikálny

a horizontálny histogram. Obrázok č. 18 a 19 (e) zobrazuje histogram v polárnych súradniciach s uzavretým obdĺžnikom.



Obrázok č. 18 (a) Obráz z testovacej obrazovej sady, (b) oprahované výkonové spektrum, (c) horizontálny histogram, (d) vertikálny histogram, (e) histogram v polárnych súradniciach.

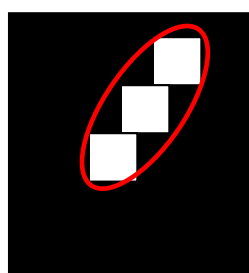




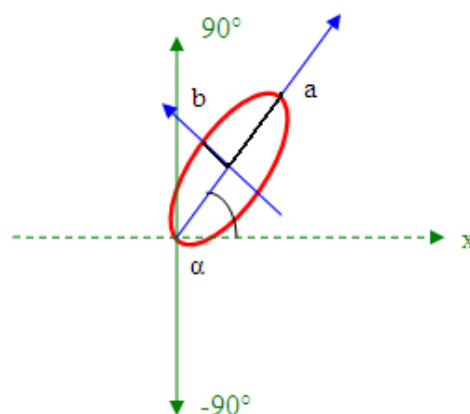
Obrázok č. 19 (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) oprahované výkonové spektrum, (c) horizontálny histogram, (d) vertikálny histogram, (e) histogram v polárnych súradniciach.

5.3 Smerová orientácia pomocou elipsy

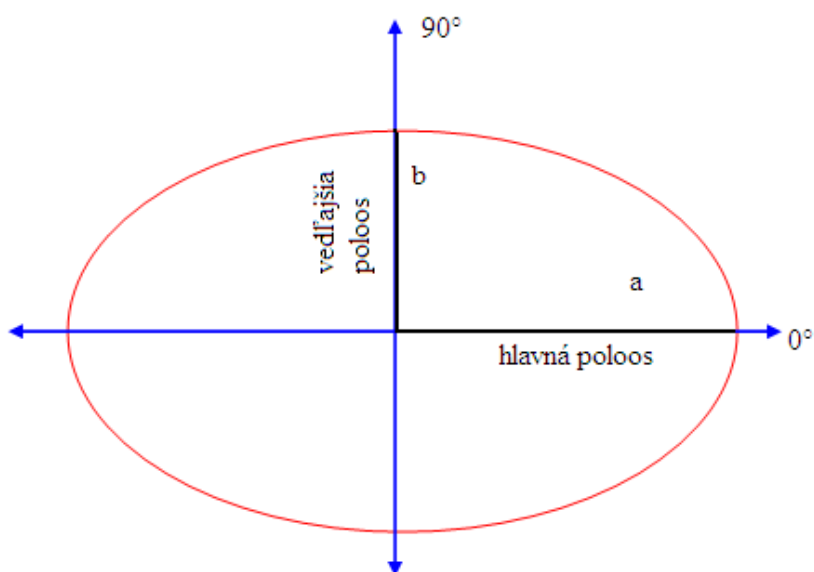
Z vyššie uvedených poznatkov bude v tejto kapitole navrhnutá modifikovaná metóda pre odhad anizotropie alebo smerového usporiadania objektových systémov, taktiež založená na $2D$ DFT. Princípom je prevedenie obrazu spektra do binárneho obrazu pomocou operácie prahovania, ktoré je popísané v kapitole 5.2.3. Zhuk bielych pixlov sa môže považovať za oblasť, ktorý nás z pohľadu ich rozloženia zaujíma. Pre takúto oblasť je možné odhadnúť rôzne tvarové charakteristiky alebo vlastnosti. Na výpočet rôznych charakteristík slúži v Matlabe funkcia *regionprops.m*, ktorá je obsiahnutá v knižnici *Image Processing Toolbox (IPT)*. Z pohľadu smerového usporiadania budú extrahované vlastnosti orientácie a veľkosť hlavnej a vedľajšej poloosi elipsy, ktoré majú rovnaký druhý moment ako oblasť záujmu. Obrázok č. 20 (a) zobrazuje príklad oblasti záujmu v binárnom obraze a odpovedajúcej elipsy. Vlastnosť orientácie je uhol v stupňoch (v rozsahu od -90° do 90°), ktorý zvierajú hlavná poloos a a x -ová osa.



(a)



(b)



(c)

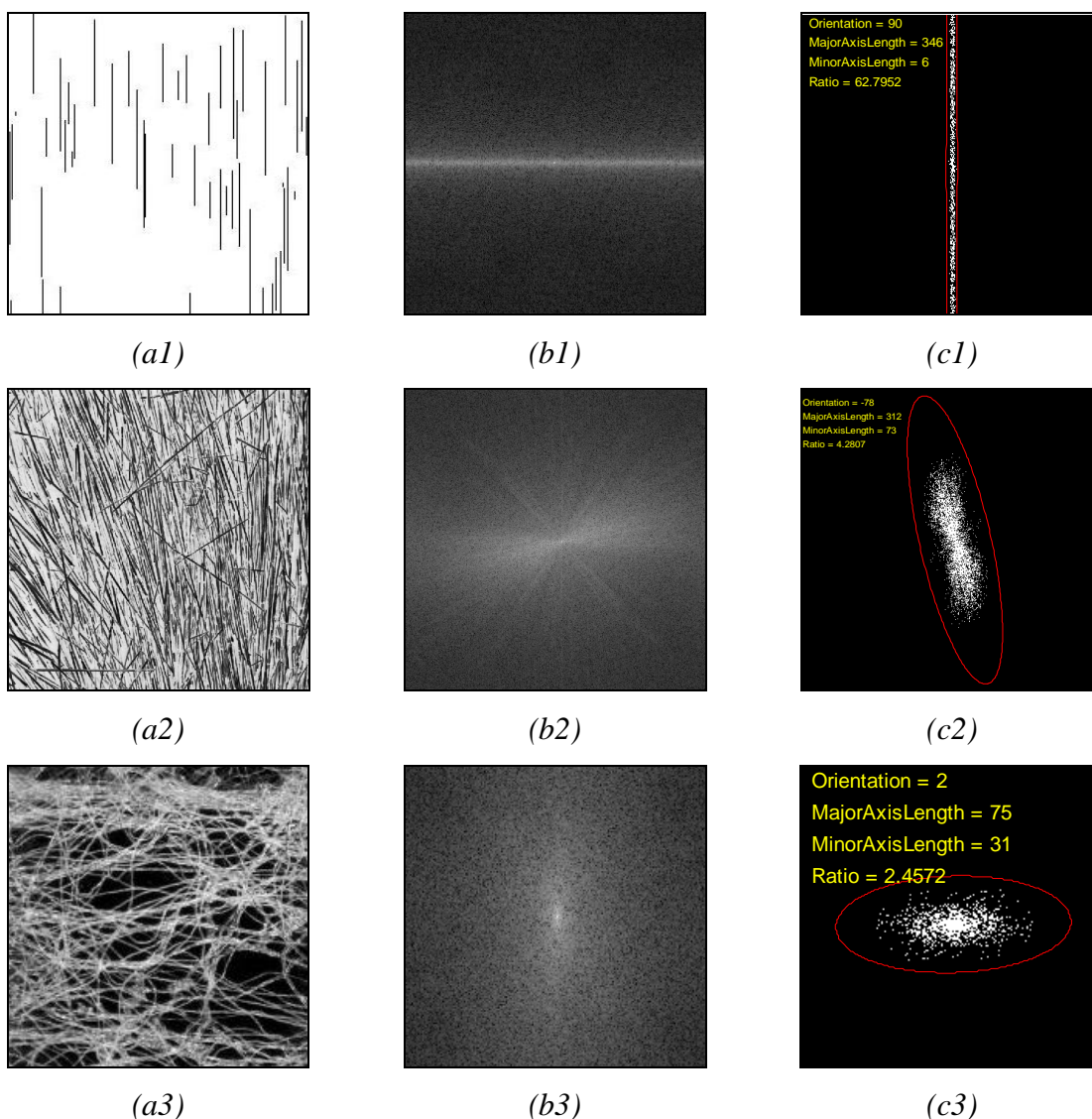
Obrázok č. 20 (a) Oblasť obrazu (b) prenesené osi (c) elipsa s vyznačením hlavnej a vedľajšej poloosi.

Pomer hlavnej a vedľajšej poloosi bude značený ako

$$Ratio = \frac{a}{b}. \quad (15)$$

Ak je hodnota $Ratio = 1$ znamená to, že objekt záujmu má kruhový tvar a nie je tam žiadny preferovaný smer. Čím sa hodnota $Ratio$ viac vzdľahuje od 1, tým viac stráca kruhový tvar a získava nejaký preferovaný smer. Pre túto prácu sa nastavila minimálna hodnota $Ratio = 2$. Ak bude objekt záujmu vykazovať nižšiu hodnotu, bude sa to chápať tak, že v danom mieste nie je preferovaný smer. Táto hodnota bola určená subjektívne na základe odhadu a bude využitá pri ďalšom vyhodnocovaní.

Na obrázku č. 21 (b1) – (b3) sú zobrazené výkonové spektrá a na obrázku č. 21 (c1) – (c3) sú oprahované binárne obrazy spektra. Červenou farbou je zobrazená elipsa s parametrami, kde *Orientation* číselne zobrazuje orientáciu objektov. *Major Axis Length* znamená dĺžku hlavnej osi a *Minor Axis Length* je dĺžka vedľajšej osi. *Ratio* predstavuje hodnotu pomeru hlavnej a vedľajšej osi. Nová navrhovaná metóda predstavuje jednoduchšie a rýchlejšie riešenie zobrazenia orientácie vlákien v celej ploche alebo len jej časti.



Obrázok č. 21 (a1) Simulovaný obraz v Matlabe, (a2) obraz z Brodatzovy databázy, (a3) výrez z netkanej textílie 1, (b1)-(b3) oprahované spektrum, (c1)-(c3) elipsa.

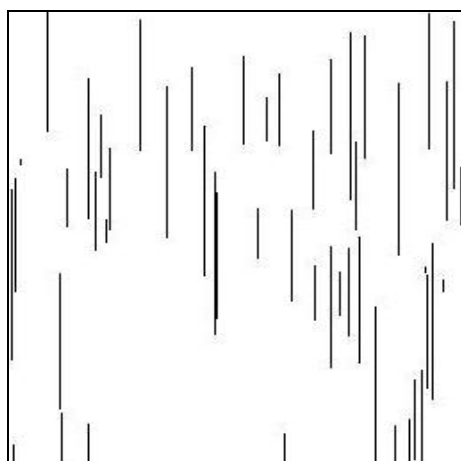
5. 4 Praktické využitie experimentálnych metód

Všetky vyššie uvedené metódy boli testované na testovacej obrazovej sade, ktorá je uvedená na obrázku č. 2. Testovacia obrazová sada poskytla 18 obrázkov pravidelných

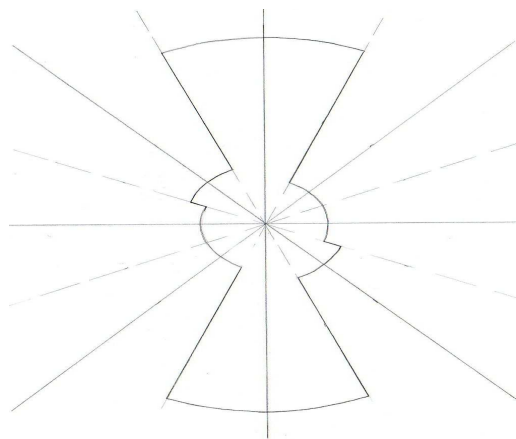
či náhodne usporiadaných textúr, generovaných alebo reálnych objektov. V práci je uvedený príklad na obraz z generovaných obrázkov, z textúrnych obrazov z Brodatzovej databázy textúr a reálny obraz z plošných textílií z Databázy textúr a textilných vzorov. Ostatné príklady zisťovania smerovej orientácie na testovaciu obrazovú sadu sú uvedené v prílohe č. 2. Obrázok č. 22 – 24 je rozdelený do 6-ich častí označených (a) – (f). Obrázok č. 22 - 24 (a) predstavuje originálny obraz, na ktorom boli aplikované metódy. Obrázok č. 22 - 24 (b) predstavuje odhad anizotropie smerovou ružicou pomocou grafickej metódy Steinerova kompaktu a bližšie je popísaná v kapitole 5.1. Tento obrázok je ako jediný získaný ručne, ostatné obrázky sú získané z Matlabu aplikáciou algoritmov. Obrázok č. 22 – 24 (c) je oprahované výkonové spektrum získané na základe vlastností *2D DFT* a zobrazené v úrovniach šedi. Obrázok č. 22 -24 (d) predstavuje odhad smerovej orientácie pomocou polárneho diagramu ktorý je bližšie popísaný v kapitole 5.2.2. Obrázky č. 22 - 24 (e) sú oprahované binárne obrazy spektra pootočené o 90° . Elipsa zobrazuje smerovú orientáciu pomocou novej modifikovanej metódy a parametre elipsy pre konkrétny objekt. Obrázky č. 22 – 24 (f) zobrazujú smerový vektor v podobe šípky, tj. preferovaný smer objektového systému a hodnotu smeru orientácie objektov v rozsahu uhlov od -90° do 90° .

Je nutná predstava, že sa na obrázok č. 22 pozerá bez základného obrazu, tj. iba z metód určovania smerovej orientácie objektov. Zo smerovej ružice obrázka č. 22 (b) je vidieť, že objekty budú orientované prevažne v smere uhlu 90° . Z obrázku č. 22 (c) z oprahovaného výkonového spektra sa dokáže vyčítať, že obraz obsahuje vysoký počet frekvenčných komponent, tj. bielych miest, kde rozloženie frekvenčných komponent v spektre je pozdĺž osi u . Na polárnom diagrame, ktorý je na obrázku č. 22 (d), sú vyznačené stupne, v akých je obraz orientovaný. V konkrétnom prípade je obraz orientovaný od 90° do 270° , pretože polárny diagram je symetrický, odhaduje sa orientácia obrazu na 90° . Elipsa na obrázku č. 22 (e) ukazuje, že obraz má orientáciu 90° a je to aj v popise *Orientation*. Šípka z obrázku č. 22 (f) ukazuje smer a číselnú informáciu o orientácii objektov v 90° .

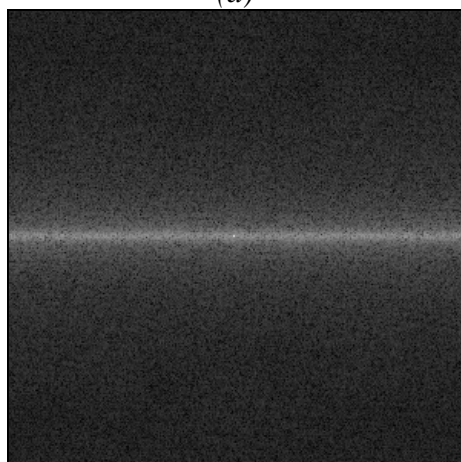
Porovnávaním jednotlivých metód v konkrétnom obraze sa zistilo, že smerová ružica pomocou Steinerovho kompaktu je citlivá na malé zmeny vstupných dát. Ostatné odhady smerovej orientácie majú väčšinou podobný, ak nie rovnaký smer orientácie. Predovšetkým zo smerovej orientácie elipsy a smerového vektoru (šípky) je jednoduché zistiť smer objektov ako aj z parametrov jej popisu.



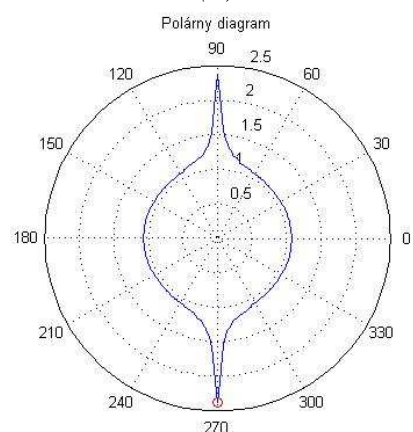
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

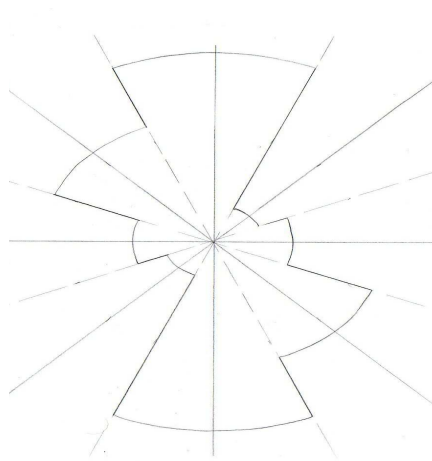


(f)

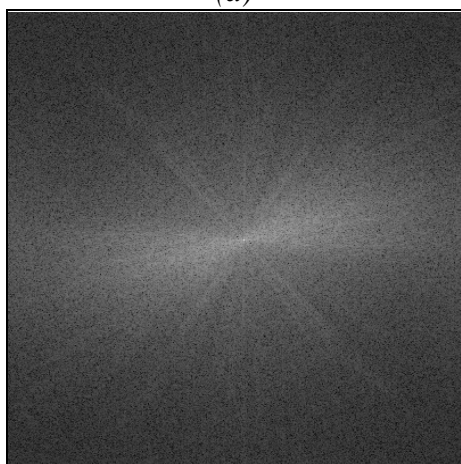
Obrázok č 22 (a) Obráz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



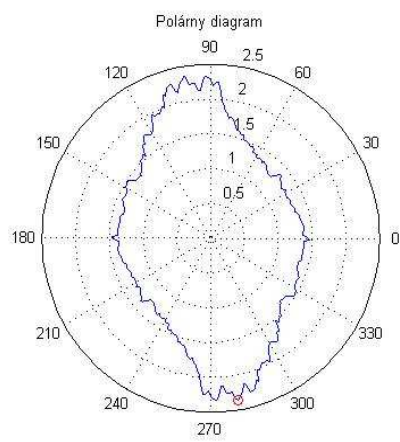
(a)



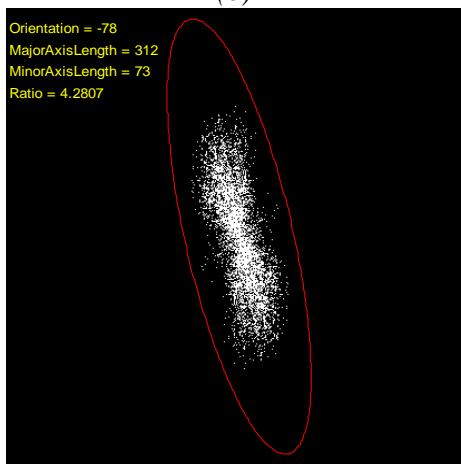
(b)



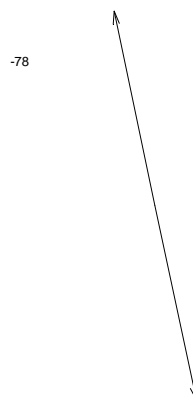
(c)



(d)

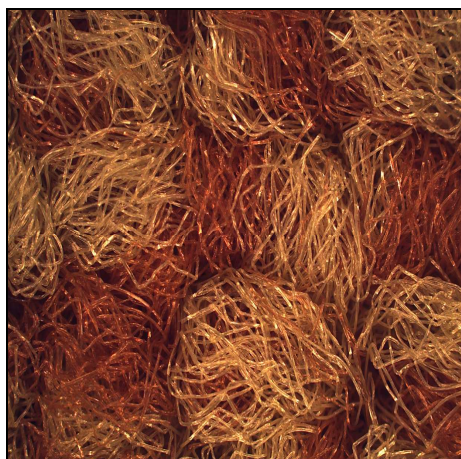


(e)

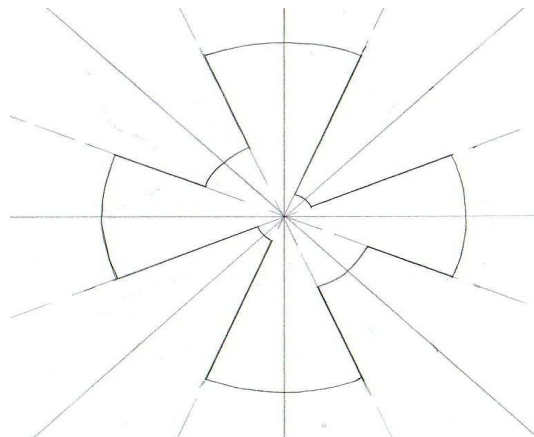


(f)

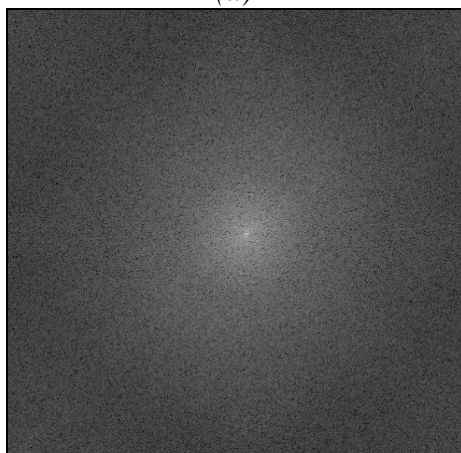
Obrázok č 23 (a) Obráz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



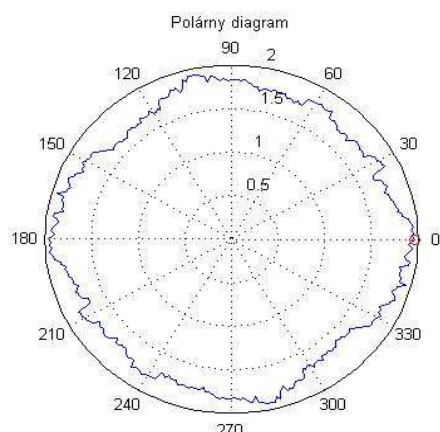
(a)



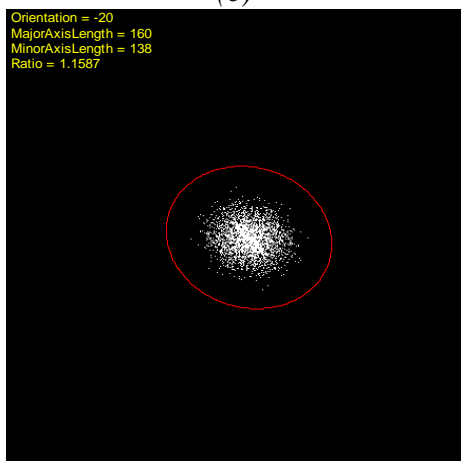
(b)



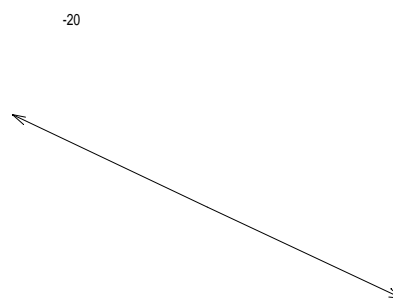
(c)



(d)



(e)



(f)

Obrázok č 24 (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.

6 Hodnotenie smerovej orientácie v ploche textílie

Vyššie uvedené metódy budú použité pre odhad smerovej orientácie vlákien v ploche netkaných textílií a to na obraze nanovláknien a netkanej textílie 1 a 2, ktoré sú bližšie popísané v kapitole 4.4. Odhady smerovej orientácie boli prevedené v programovacom jazyku Matlab pomocou m-funkcie, ktorá sa nachádza v prílohe č. 1.

6.1 Hodnotenie smerovej orientácie na obraze nanovláknien

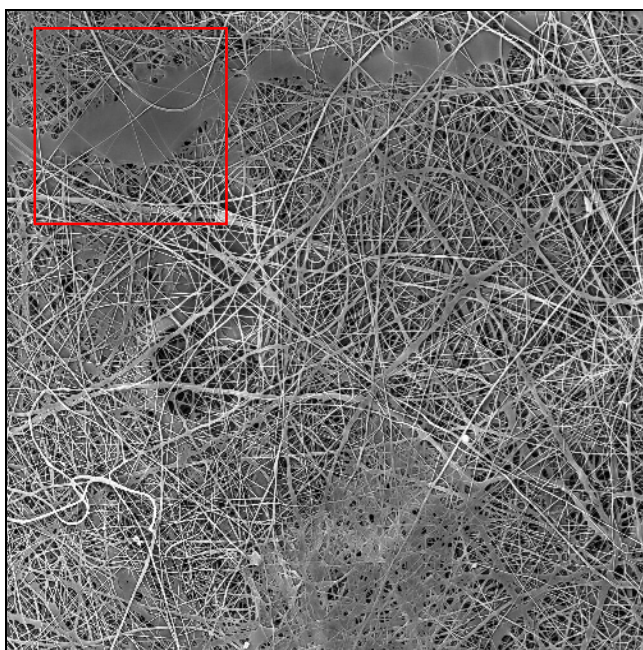
Na obrázku č. 25 je obraz nanovláknien s označeným výrezom červenej farby o veľkosti 300 x 300 pixlov, na ktorý budú vypočítané odhady smerovej orientácie. Výrez obrazu nanovláknien je rozdelený do štvorcovej siete podokien o určitej veľkosti. Na každé podokno je prevedená analýza preferencie smeru objektov aplikovaním algoritmov. Výsledok analýzy sa zobrazuje v podobe červeného smerového vektora (šípky), ktorý ukazuje preferovaný smer pre každé podokno zvlášť. Podokná sú zobrazované v úrovniach šedi, ktoré predstavujú rozsah uhlov od -90° do 90° . Pre lepšiu názornosť je zobrazený aj pruh v úrovniach šedi.

Výrez o veľkosti 300 x 300 pixlov z obrázku č. 25 bol rozdelený do podokien. Na obrázku č. 26 sa nastavila veľkosť podokna výrezu na 100 x 100 pixlov, z čoho vzniklo 9 podokien. Obrázok č. 27 má veľkosť podokien 50 x 50 pixlov, čím sa zobrazuje obraz rozdelený do 36-ich podokien. Na obrázku č. 28 je obraz s 225-mi podoknami, keďže výrez sa rozdelil na podokná veľkosti 20 x 20 pixlov. Obrázok č. 29 má delenie obrazu na 10 x 10 pixlov čím vzniklo 900 podokien. Na obrázkoch č. 26 – 29 (a) sa zobrazujú výsledky smerového usporiadania podľa metódy odhadu smerovej orientácie pomocou polárneho diagramu. Tento odhad je zobrazovaný v polárnom diagrame, kde je pomocou červeného krúžku určené maximum. Táto metóda je podrobne popísaná v kapitole 5.2.2. Obrázky č. 26 – 29 (c) predstavujú výsledky po aplikácii navrhnutej modifikovanej metódy odhadu anizotropie pomocou zobrazujúcej sa elipsy, ktorá je uvedená v kapitole 5.3. Vlastnosti odhadu smerovej orientácie pomocou polárneho diagramu a pomocou elipsy boli prevedené na podokná o úrovniach šedi. Smerový vektor v podoknách v podobe šípky ukazuje smerovú orientáciu, ktorá je preferovaná v danom mieste. Pri obrázkoch č. 26 – 29 (c), tj. u navrhnutej metódy odhadu anizotropie pomocou elipsy je smerový vektor zobrazený iba v prípade, že hodnota *Ratio* je väčšia ako 2. Detailnejší popis prečo je táto

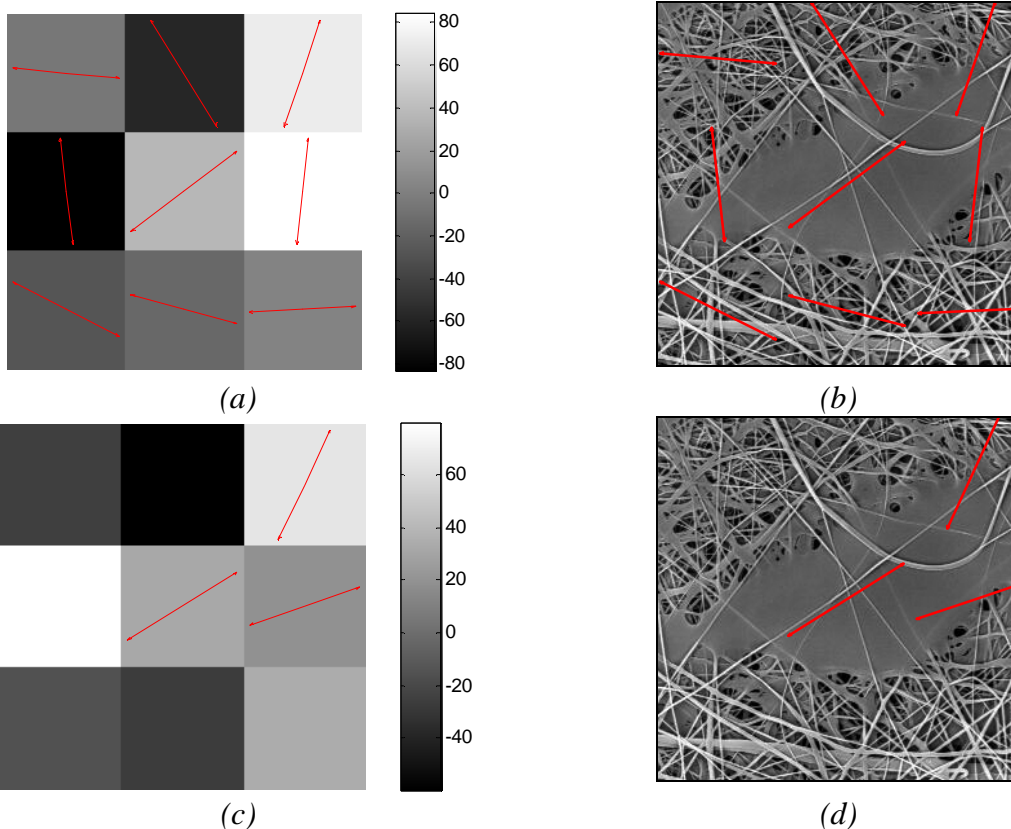
hodnota nastavená na 2, je uvedený v kapitole 5.3. Smerové vektory v podobe šípky sú v podoknách o úrovniach šedi ale pre lepšiu predstavivosť sú zobrazené aj v originálnom výreze obrazu nanovláknien. Obrázok č. 26 – 29 (b) patrí metóde odhadu anizotropie pomocou polárneho diagramu, tj. smerovým vektorom z obrázku č. 26 – 29 (a). Smerové vektory modifikovanej metódy smerovej orientácie pomocou elipsy zodpovedajú obrázku č. 26 – 29 (c) a sú zobrazené vo výreze obrazu nanovláknien na obrázku č. 26 – 29 (d).

Obrázok č. 26 (b) má zobrazený smerový vektor v podobe šípky na deviatich miestach. V porovnaní s obrázkom č. 26 (d), tj. s druhou metódou, je smerový vektor iba v troch podoknách. Na obrázku č. 29 (a), kde je delenie na podokná najjemnejšie a obraz je rozdelený na 900 podokien, je vidieť priebeh vlákna. Toto vlákno je vidieť aj na obrázku č. 29 (b) v originálnom výreze. Na obrázku č. 29 (c) však nie je v strede žiadny preferovaný smer, pravdepodobne ide o miesto, kde je roztečený napríklad nejaký polymér. V tomto mieste je teda hodnota *Ratio* menšia ako 2, tj. pomer hlavnej a vedľajšej poloosi je menší ako 2 a tým sa nezobrazuje smerový vektor. Čím je delenie na podokná menšie, tým je viac vidieť rozdiely medzi metódami.

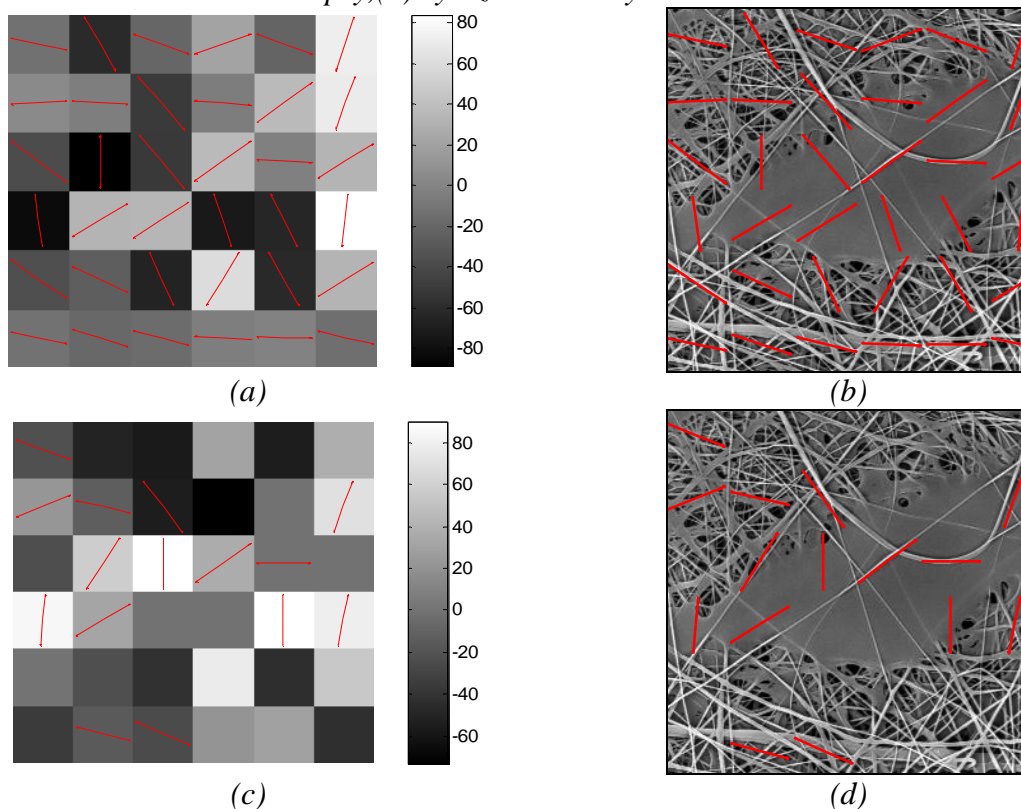
Na ukážku je v prílohe č. 3 zobrazený obraz nanovláknien s označeným výrezom na inom mieste ako na obrázku č. 25. Na nový výrez boli aplikované rovnaké algoritmy ako vo vyššie uvedenom príklade.



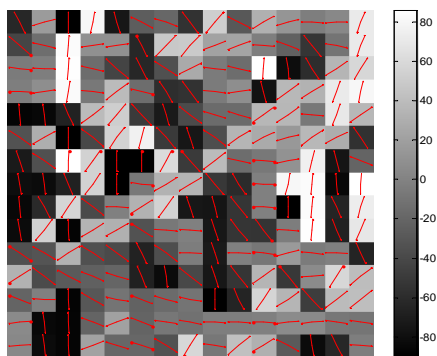
Obrázok č. 25 Obraz nanovláknien s označením výrezu.



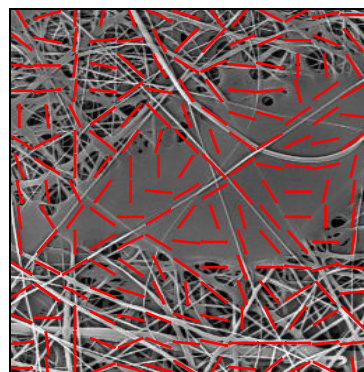
Obrázok č. 26 Pole rozdelené do 9.-ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



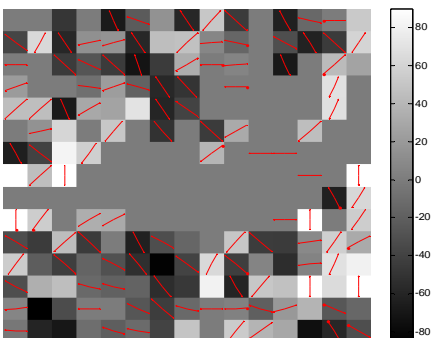
Obrázok č. 27 Pole rozdelené do 36.-ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



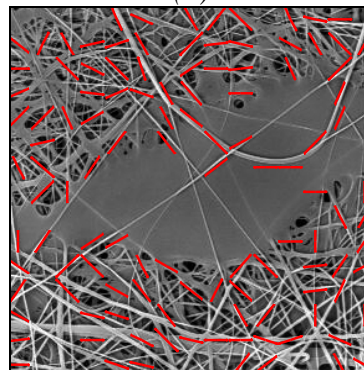
(a)



(b)

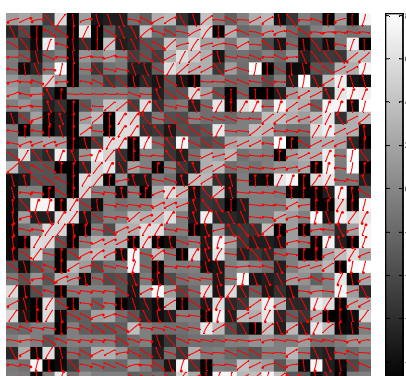


(c)

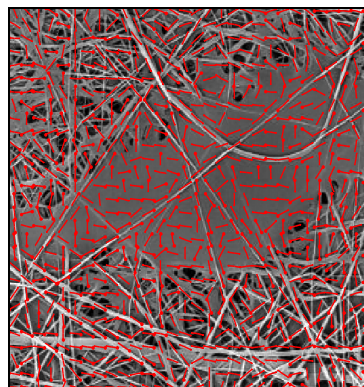


(d)

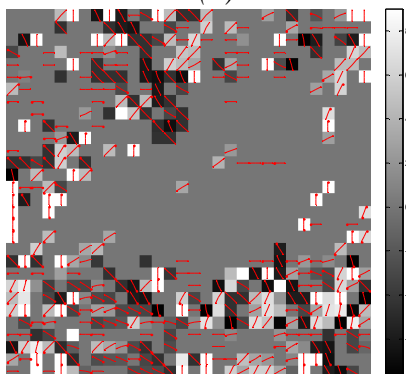
Obrázok č. 28 Pole rozdelené do 225.-ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



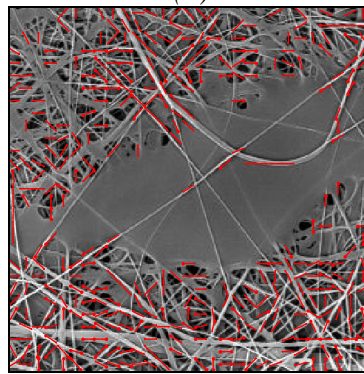
(a)



(b)



(c)



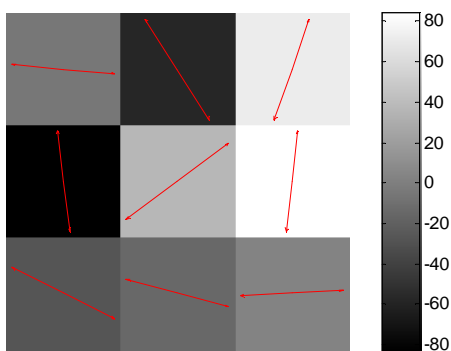
(d)

Obrázok č. 29 Pole rozdelené do 900 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.

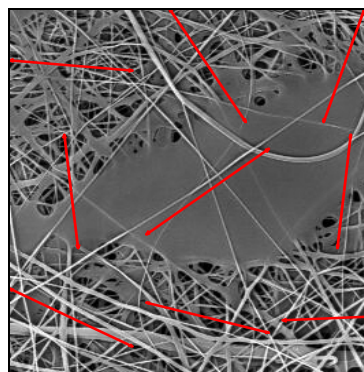
Ďalší príklad zisťovania odhadu smerovej orientácie v ploche obrazu nanovlákién je uvedený na obrázkoch č. 30 – 33. Ako vo vyššie uvedenom príklade, aj tu bol použitý výrez o veľkosti 300 x 300 pixlov, ktorý je na obrázku č. 25. Obraz bol rozdelený do štvorcovej siete podokien o rôznych veľkostiach v úrovniach šedi a zobrazený aj s pruhom úrovne šedi. Na obrázku č. 30 – 33 (a) je vidieť výsledky po aplikácii algoritmu metódy odhadu smerovej orientácie pomocou polárneho diagramu. Smerové vektory sú zobrazené v originálnom výreze obrazu nanovlákién na obrázku č. 30- 33 (b). Obrázok č. 30 – 33 (c) vznikol pomocou novej modifikovanej metódy odhadu smerového usporiadania pomocou elipsy, avšak s nastaviteľnou hodnotou $Ratio = 3$. V obraze to znamená, že ak pomer hlavnej a vedľajšej osi je menší ako 3, v podokne sa nezobrazí žiadny smerový vektor v podobe šípky.

Na obrázku č. 30 (c), ktorý je rozdelený do 9-ich podokien nie je zobrazený žiadny smerový vektor, tj. obraz nemá preferovaný smer. V porovnaní s obrazom, kde hodnota $Ratio = 2$, bol u rovnakého výrezu zobrazený smerový vektor v troch podoknách, ako je možné vidieť na obrázku č. 26 (c). Obrázok č. 31 je rozdelený do 36-ich podokien a je vidieť početný rozdiel medzi smerovými vektormi na obrázku č. 31 (a) a (c). Obrázok č. 32 má delenie na 225 podokien a obrázok č.33 je rozdelený do 900 podokien. U obrázku č. 32 a 33 (c) je vidieť plochy bez smerového usporiadania. Obraz nemá v mieste žiadnu preferenciu smeru, hodnota $Ratio=3$. V porovnaní s obrázkami č. 28 a 29 kde je rovnaké delenie na podokná ale hodnota $Ratio=2$ sú tieto plochy výrazne väčšie. Pod týmito prázdnyimi plochami, kde nie je žiadny preferujúci smer vlákien si môžeme predstaviť napríklad roztečený polymér.

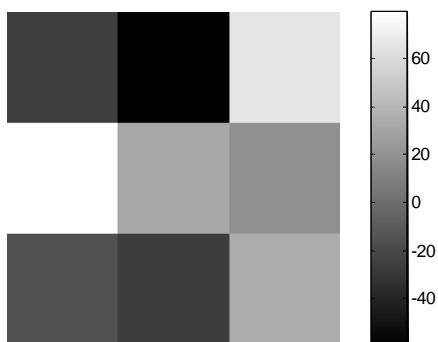
Vyhodnocovanie anizotropie alebo smerového usporiadania v obraze nanovlákién ukázalo rozdiely medzi metódou odhadu pomocou polárneho diagramu a odhadu modifikovanej metódy smerového usporiadania pomocou elipsy. Obrázky mali rôznu veľkosť podokien a delenie na najmenšie podokná predstavovalo najväčšie rozdiely medzi metódami. Na rovnakom delení podokien boli napríklad miesta so zobrazeným vláknom u metódy odhadu pomocou polárneho diagramu a naopak u druhej metódy odhadu anizotropie pomocou elipsy tieto miesta predstavovali prázdne plochy bez smerových vektorov. Viditeľné zmeny v počte smerových vektorov boli aj v prípade odhadu smerovej orientácie pomocou elipsy pri nastavení hodnoty $Ratio = 2$ a $Ratio = 3$. Čím vyššia bude hodnota $Ratio$ nastavená, tým menej bude smerových vektorov.



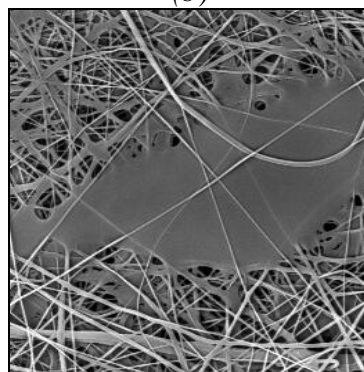
(a)



(b)

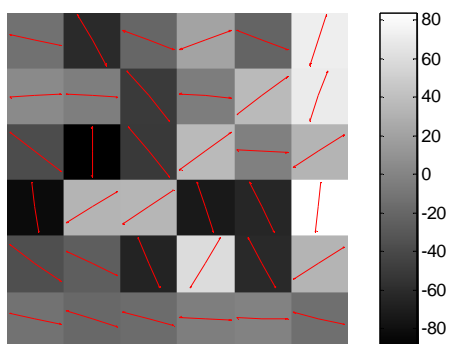


(c)

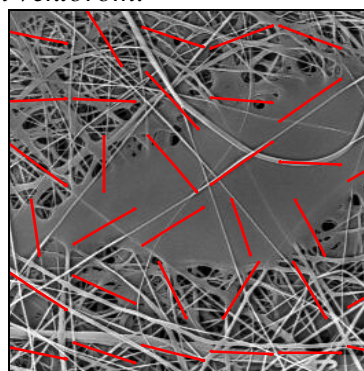


(d)

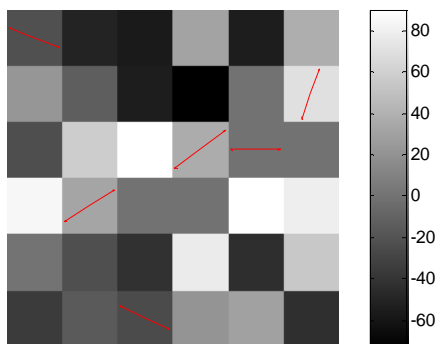
Obrázok č. 30 Pole rozdelené do 9.-ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



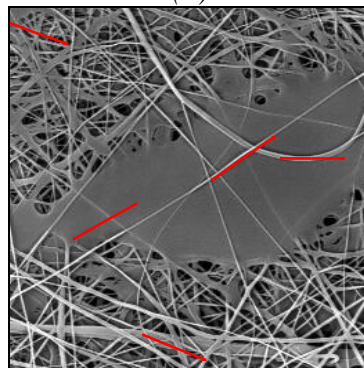
(a)



(b)

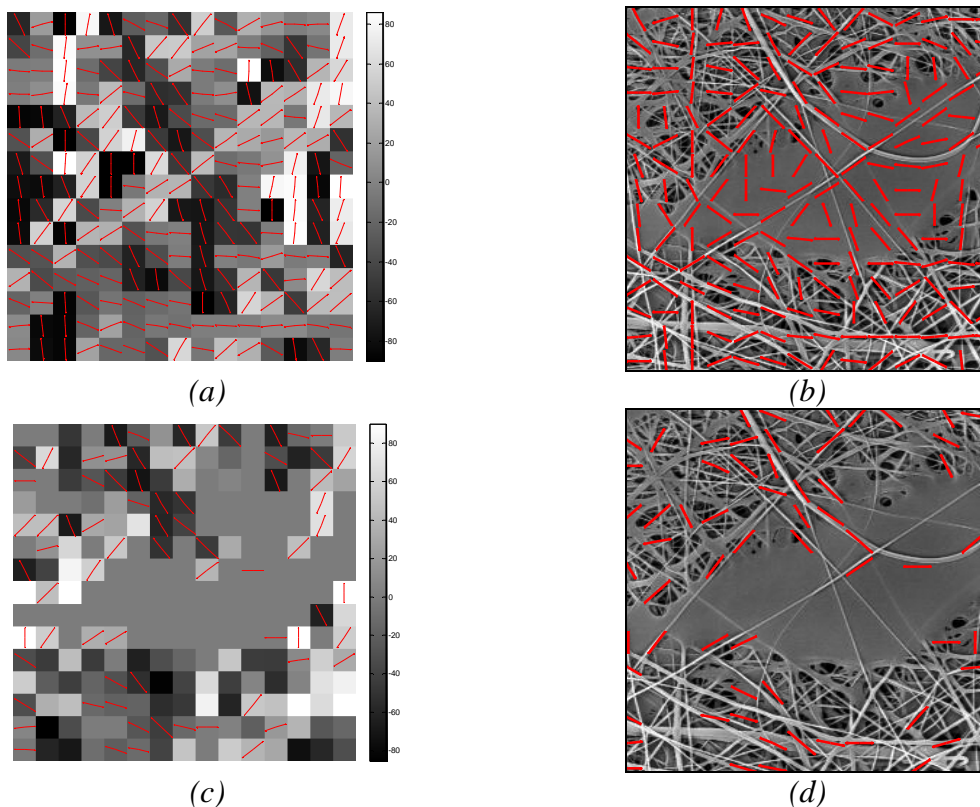


(c)

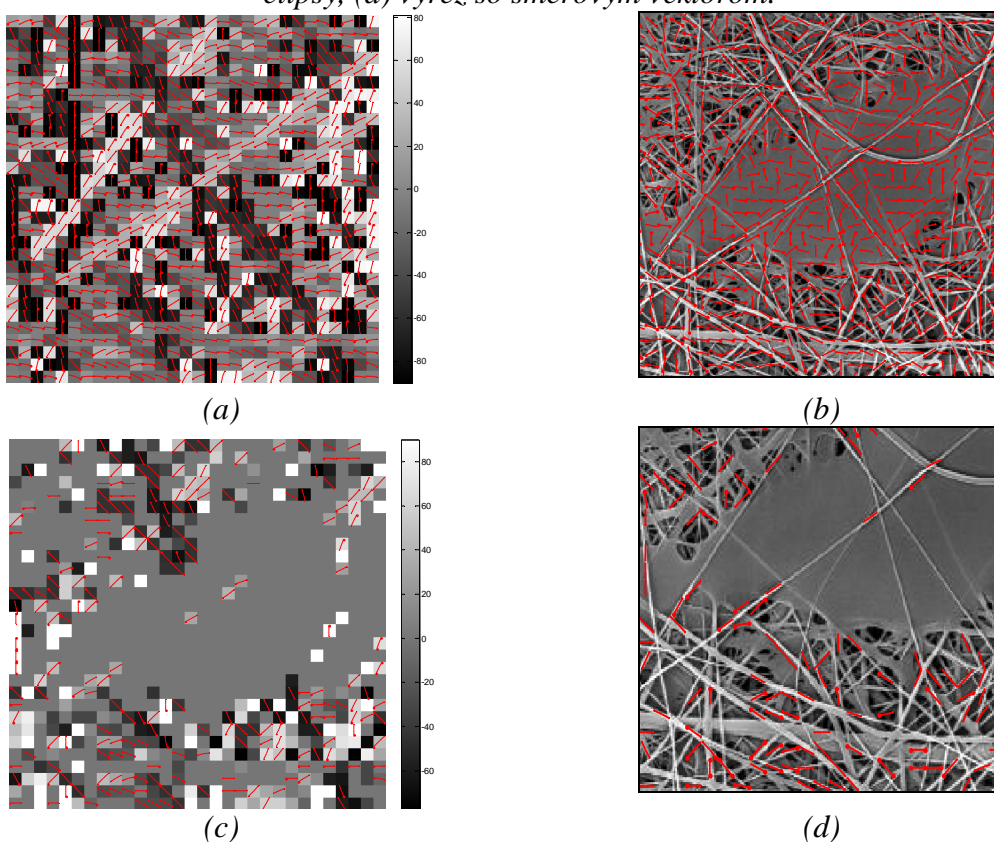


(d)

Obrázok č. 31 Pole rozdelené do 36.-ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



Obrázok č. 32 Pole rozdelené do 225.-ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.

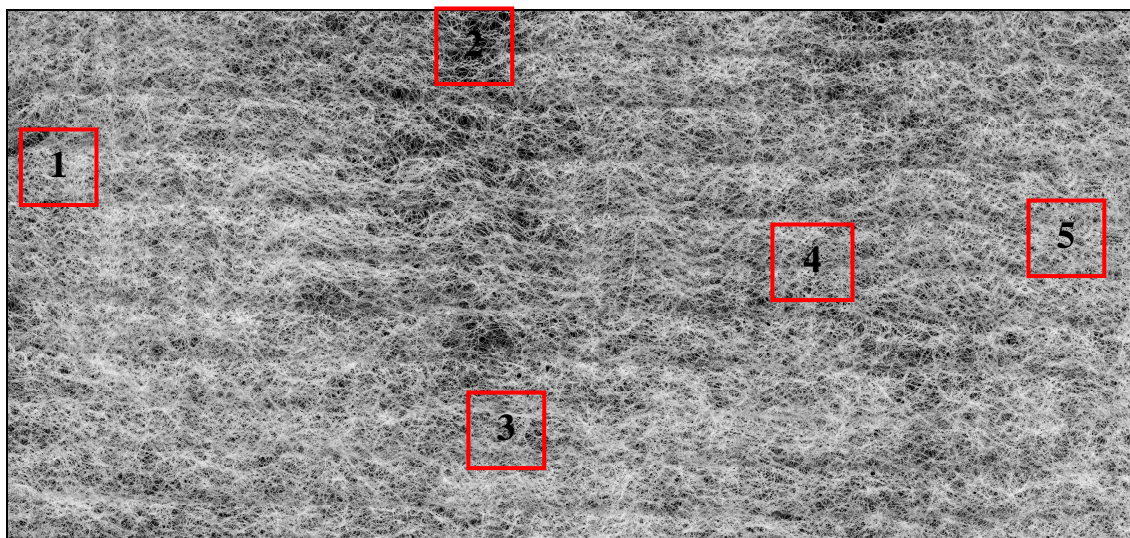


Obrázok č. 33 Pole rozdelené do 900 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.

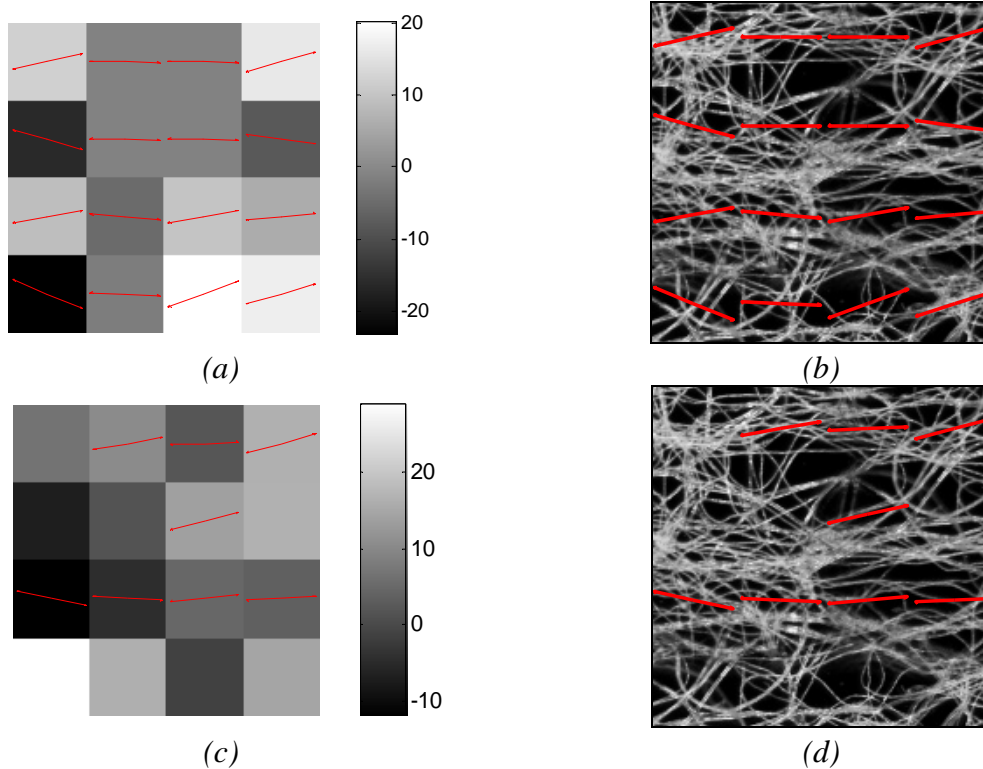
6. 2 Hodnotenie smerovej orientácie na netkanej textílii 1

Smerová orientácia vlákien sa zisťovala aj v ploche netkanej textílie 1. Netkaná textília je zobrazená na obrázku č. 34 a na nej sú označené červeným rámom výrezy. Veľkosť výrezov bola nastavená na rozmery 200 x 200 pixlov. Na jednotlivé výrezy boli aplikované algoritmy na určenie smerovej orientácie pomocou polárneho diagramu a pomocou elipsy. Ako príklad je v práci uvedený výrez označený číslom 2 z obrázku č. 34. Ostatné výrezy spolu s podoknami, na ktoré boli aplikované algoritmy sú uvedené v prílohe č. 4.

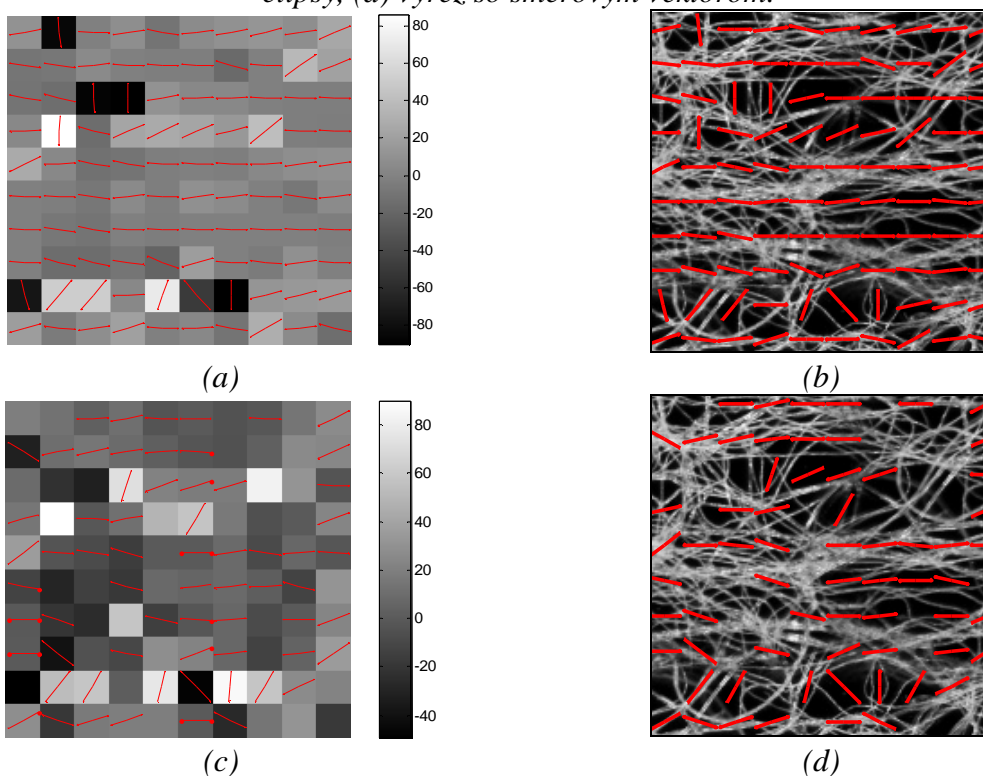
Ako prvé sa obrazy rozdelili do štvorcovej siete podokien. Výrez na obrázku č. 35 sa rozdelil na 50 podokien, čím vznikol obraz zo 16.-mi podoknami a výrez na obrázku č. 36 na jemnejšie delenie a to 20 podokien a obraz zobrazuje 100 podokien. Podokná sú v úrovniach šedi a pre lepšiu predstavivosť je vedľa každého podokna zobrazený pruh o úrovni šedi. Na podokná boli aplikované algoritmy pre odhad smerovej orientácie. Obrázok č. 35 a 36 je rozdelený do štyroch častí a označený písmenami (a) – (d). Na obrázky č. 35 a 36 (a) boli aplikované algoritmy v Matlabe na určenie smerovej orientácie vlákien pomocou polárneho diagramu. Červené smerové vektory (šípky) predstavujú smer vlákien v konkrétnom podokne. Obrázky č. 35 a 36 (b) sú originálne výrezy netkanej textílie 1, v ktorých sú zobrazené smerové vektory z obrázku č. 35 a 36 (a). Na obrázok č. 35 a 36 (c) bol aplikovaný algoritmus zistenia smeru vlákien pomocou elipsy s nastaviteľnou hodnotou $Ratio = 2$. Smerové vektory z obrázku č. 35 a 36 (c) boli zobrazené pre lepšiu predstavivosť do výrezu z netkanej textílie 1, ako je vidieť na obrázku č. 35 a 36 (d).



Obrázok č. 34 Netkaná textília 1 s označenými výrezmi.



Obrázok č.35 Pole rozdelené do 16.-ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



Obrázok č.36 Pole rozdelené do 100 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.

6. 3 Hodnotenie smerovej orientácie netkanej textílie 2

Na obrázku č. 37 je netkaná textília 2 s výrezmi označenými červeným rámom. Výrezy majú veľkosť 400 x 400 pixlov a boli na ne aplikované algoritmy pre zisťovanie smerovej orientácie. Na obrázku č. 38 a 39 sa pracuje s výrezom označeným číslom 3. Ostatné výrezy a podokná po aplikácii algoritmov sú uvedené v prílohe č. 5.

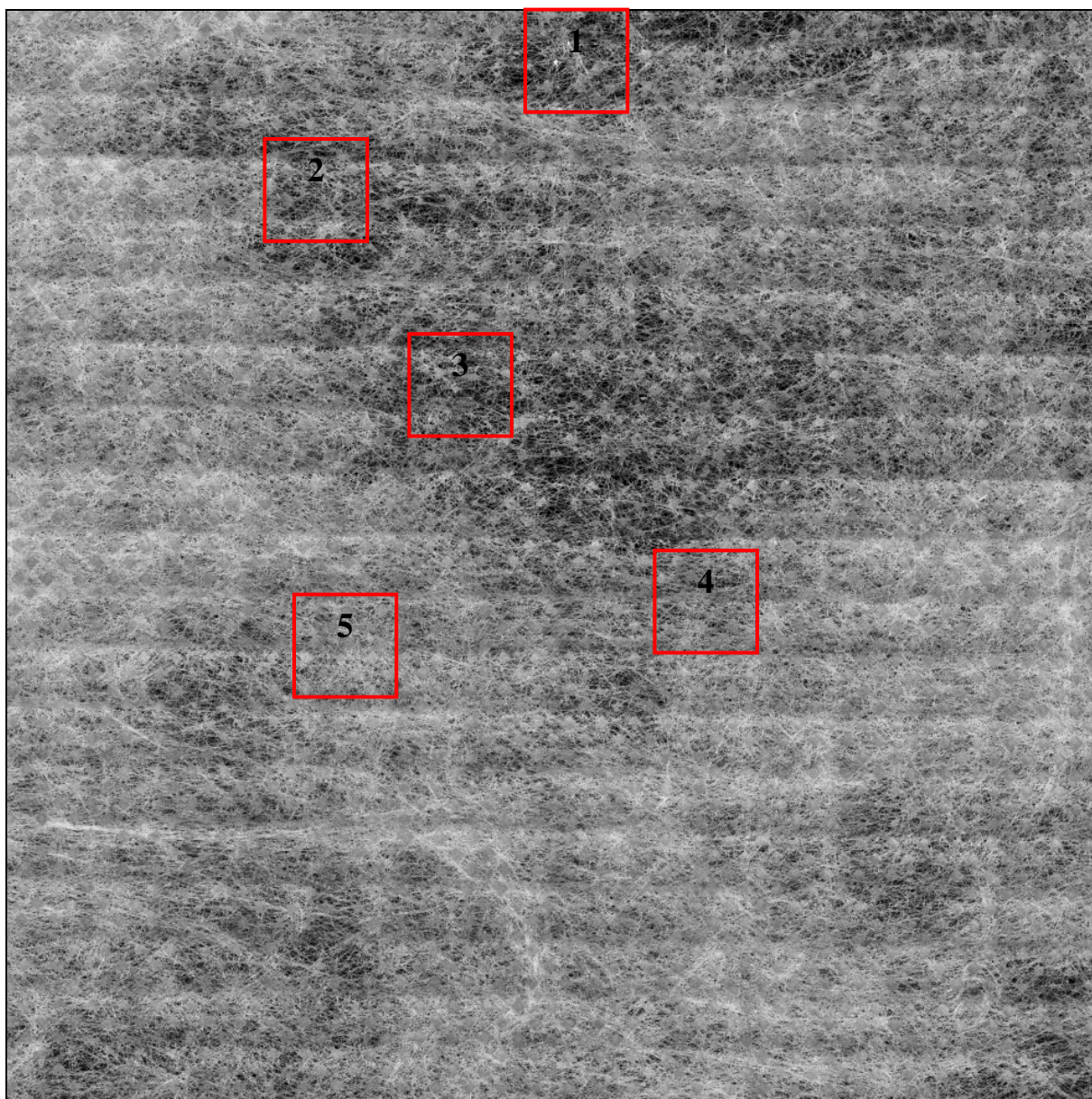
Na výreze z netkanej textílie 2 bola zisťovaná smerová orientácia vlákien podľa metódy polárneho diagramu a novej navrhutej metódy smerovej orientácie podľa elipsy. Základný obraz (výrez) bol rozdelený na obrázku č. 38 a č. 39 do 64 a 400 podokien. Podokná sú zobrazované v úrovniach šedi a pri každom je zobrazený pruh úrovne šedi pre lepšiu predstavivosť.

Na obrázok č. 38 a 39 (a) bola aplikovaná metóda odhadu anizotropie podľa polárneho diagramu. Smerový vektor v podobe červenej šípky zobrazuje smer vlákna v konkrétnom podokne. Pre lepšiu predstavivosť je smerový vektor zobrazený aj v originálnom výreze netkanej textílie 2 na obrázkoch č. 38 a 39 (b). Obrázky č. 38 a 39 (c) sú získané metódou určovania orientácie vlákien pomocou elipsy, kedy hodnota pomeru hlavnej a vedľajšej osi bola nastavená na $Ratio=2$. Podokná sú úrovniach šedi a červená šípka, tj. smerový vektor ukazuje orientáciu vlákien. Tieto vektory sú zobrazené v originálnom výreze netkanej textílie 2 na obrázkoch č. 38 a 39 (d).

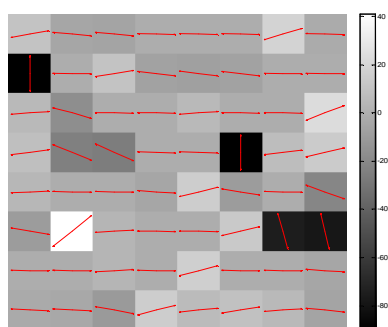
Najviac viditeľné rozdiely medzi metódou odhadu smerovej orientácie vlákien pomocou polárneho diagramu a modifikovanou metódou odhadu anizotropie pomocou elipsy sú na obrázku č. 38. Obrázok č. 38 (a) je rozdelený do 64 podokien a vo všetkých podoknách je smerový vektor v podobe šípky. Na obrázku č. 38 (b) je obraz taktiež rozdelený do 64 podokien ale smerový vektor je iba v 9-ich z nich.

Smerové usporiadanie alebo anizotropia vlákien v ploche netkaných textílií sa zisťovala na rôznych miestach, s rôznou veľkosťou výrezu a rôznym delením na podokná. Všetky podokná boli v úrovniach šedi aj so zobrazeným pruhom pre lepšiu predstavivosť. Netkané textílie boli vyrobené rôznou technológiou výroby. Netkaná textília 1 bola zo štaplových vlákien spevňovaná kalandrom a netkaná textília 2 bola vyrobená technológiou Spun-Bond. Technológia ovplyvnila zastúpenie vlákien v určitých miestach. Niektoré miesta boli zaplnené vláknami viac, iné menej, ako sa už predpokladá u netkaných textílií, ktoré sú

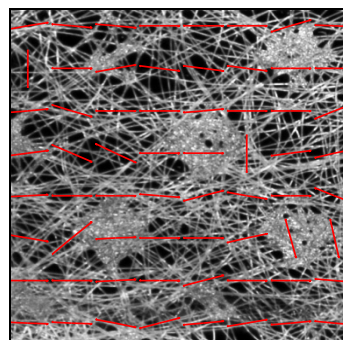
usporiadané náhodne. Podľa smerových vektorov v jednotlivých podoknách sa dá predpokladať, že netkaná textília 2 je hustejšia. Miesta, kde sa smerový vektor v podobe červenej šípky nezobrazuje, predstavujú napríklad zhluky vlákien alebo kvapka polyméru, ktorá spojila vlákna do jedného miesta. Tieto miesta nevykazujú žiadnu preferenciu smeru a sú viditeľné predovšetkým na netkanej textílii 2 priamo vo výreze zo zobrazenými smerovými vektormi.



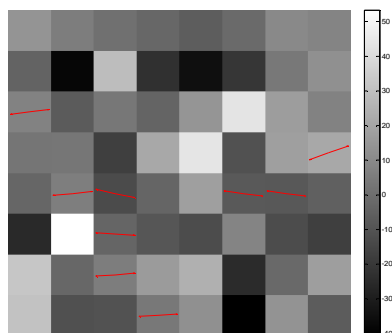
Obrázok č. 37 Netkaná textília 2 s označenými výrezmi.



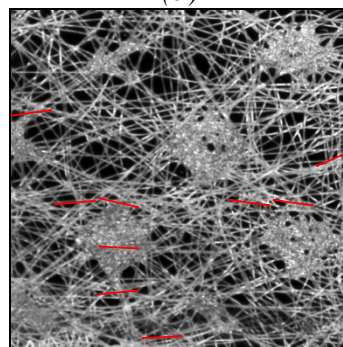
(a)



(b)

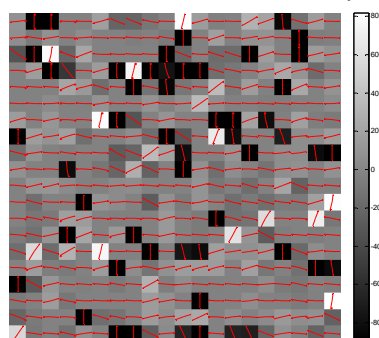


(c)

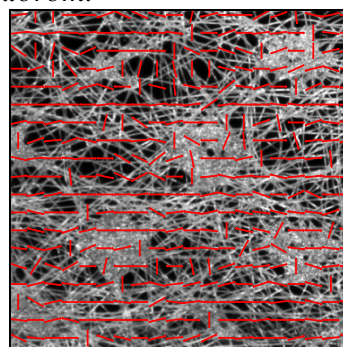


(d)

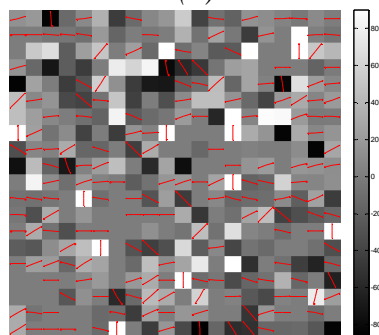
Obrázok č.38 Pole rozdelené do 64 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



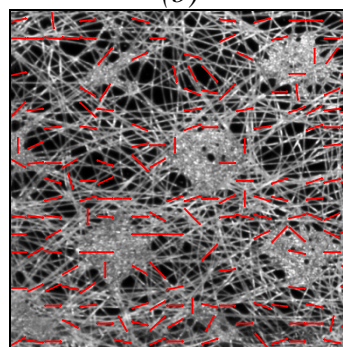
(a)



(b)



(c)



(d)

Obrázok č.39 Pole rozdelené do 400 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.

Záver

V práci sa zisťovala anizotropia alebo smerové usporiadanie štruktúry vlákenných objektových systémov.

Smerové usporiadanie vlákenných systémov sa dá zisťovať viacerými metódami. Ako prvá bola použitá experimentálna grafická metóda odhadu anizotropie vo forme smerovej ružice založená na grafickej konštrukcii Steinerovho kompaktu z priesečníkovej ružice. Ďalšie študované metódy boli založené na Fourierovej transformácii a využívali vlastnosti Fourierovho spektra vo frekvenčnej doméne, ktoré premieta anizotropiu originálnych obrazov v priestorovej doméne. Zisťovanie anizotropie vlákenných systémov pomocou polárneho diagramu ako odhadu smerovej ružice získaného z Fourierovho spektra bolo jednou z týchto metód. Výhodou tejto metódy bola rýchlosť, grafické výsledky boli k dispozícii hneď po aplikácii algoritmu. Ďalšia študovaná metóda bola pomocou horizontálnych a vertikálnych histogramov a histogramu v polárnych súradniciach.

Navrhnutá modifikovaná metóda pre odhad anizotropie alebo smerového usporiadania objektových systémov je založená podobne ako vyššie uvedené na *2D DFT*. Metóda využíva oprahované Fourierovo spektrum, kde vysoké hodnoty frekvenčných komponent ako zhuk bielych pixlov predstavovali oblasť záujmu. Pre takúto oblasť je zistená dĺžka hlavnej a vedľajšej osi elipsy a smer orientácie, ktorý predstavuje preferovaný smer vlákenných objektov. Jednotlivé metódy boli testované na testovacej obrazovej sade, tj. obrázkoch náhodných aj pravidelných štruktúr textilných a iných objektov. Testovaný obraz mal orientáciu zobrazenú v podobe smerovej ružice, polárneho diagramu, elipsy a šípky, tj. smerového vektora. Tieto formy odhadu smerového usporiadania sa väčšinou zhodovali s preferovaným smerom objektov.

Nová modifikovaná metóda určovania smerovej orientácie bola ďalej testovaná v ploche textilného materiálu na obraze nanovláken a na obraze dvoch reálnych netkaných textílií. Obraz textílie sa rozdelil do štvorcovej siete podokien o určitej veľkosti. Pre každé podokno bola prevedená analýza smerovej orientácie. V obraze nanovláken boli viditeľné rozdiely v preferencii smeru v mieste, kde boli zhuky vlákien alebo roztečený polymér. Testovanie v ploche netkaných textílií ukázalo rozdiely v zastúpení vlákien medzi netkanou textíliou 1 a netkanou textíliou 2 v počte smerových vektorov.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Rataj, J., Saxl, I. Analysis of Planar Anisotropy by Means of Steiner Compact: A Simple Graphical Method, *Acta Stereologica*, 1988. 7/2: 107-112.
- [2] Lukáš, D. *Stereologie textilních materiálů*, Liberec: Skriptum TU, 2000. 80 s.
- [3] Militký, J., Rubnerová, J., Klička, V. Vzhledová nestejnomořnost netkaných textilií, *Sborník z konference STRUTEX 98*, Liberec, 1998.
- [4] Militký, J., Rubnerová, J., Klička, V. Prostorová statistika a nestejnomořnost plošné hmotnosti netkaných textilií, 1998.
- [5] Linka, V., Volf, P. *Statistické metody pro hodnocení homogenity textilních materiálů*, Liberec: KTM, TU, 2000. 164-175 s.
- [6] Holota, R., Němeček, S. *Recognition of oriented structures by 2D Fourier Transform*, Pilsen, University of West Bohemia, 2002. 88 – 92 s.
- [7] Tonar, Z., Němeček, S., Holota, R., a kol. Microscopic image analysis of elastin network in samples of normal, atherosclerotic and aneurysmatic abdominal aorta and its biomechanical implications, *Journal of Applied Biomedicine*, 2003. 1: 149–159 s. ISBN 1214-0287.
- [8] Joss, B., Burton, R. D., Lalor, J.M. Texture orientation and anisotropy calculation by Fourier transform and Principal Component Analysis, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2005. 19: 1152-1161 s.
- [9] Tunák, M., Linka, A. Analysis of Planar Anisotropy of Fibre Systems by Using 2D Fourier Transform, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, January/December 2007. Vol. 15, No. 5-6 (64-65).
- [10] Karkkainen, S., Jensen, E. B. V. Estimation of Fibre Orientation from Digital Images, *Image Anal Stereol*, 2001. 20, 199-202 s.
- [11] Karkkainen, S., Jensen, E. B. V. Jeulin, D. On the Orientation Analysis of Planar Fiber Systems from Digital Images. *Journal of Microscopy*, Vol. 207, Pt 1, 2002. 69-77 s.
- [12] Hlaváč, V., Šonka, M. *Počítačové vidění*, Praha: Grada, 2002. 272 s. ISBN 80-85424-67-3.
- [13] Gonzales, R., Woods, R., Eddins, S. *Digital Image Processing*, New Jersey: Upper Saddle River, 2004. 609 s. ISBN 0-13-008519-7.
- [14] Sodomka, L. *Nekonvenční způsoby dělení a spojování*, Liberec: TU, 2001.

- [15] Sodomka, L. *Studium textury pavučiny, rouna a netkané textilie*, Textil, 36, 1981. 129 s.
- [16] Dostálová, M., Křivánková, M. *Základy textilní a oděvní výroby*, Skriptum. TU Liberec, 1998. 185 s. ISBN 80 -7083 -306 -8.
- [17] Dostupné na:
<http://www.ux.uis.no/~tranden/brodatz.html> [citované 10. 2. 2010]
- [18] Dostupné na:
http://blade1.ft.tul.cz/~tyr/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?page=publ&action=showThemeContent&theme_id=22
[citované 7. 2. 2010]
- [19] Dostupné na:
http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/matlab04/salacova.pdf [20. 3. 2010]
- [20] Dostupné na:
http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/nove/galerie/vyzkum_big/16.jpg [1. 4. 2010]
- [21] Tsai, D.-M., Huang, T-Y.: Automated Surface Inspection For Statistical Textures, *Image and Vision Computing*, 21, 307 - 323. 2003.

Zoznam príloh

Príloha č. 1 Zdrojové kódy pre Matlab

Príloha č. 2 Experimentálna metóda v testovacej obrazovej sade

Príloha č. 3 Hodnotenie smerovej orientácie na obraze nanovlákien

Príloha č. 4 Hodnotenie smerovej orientácie na netkanej textílii 1

Príloha č. 5 Hodnotenie smerovej orientácie na netkanej textílii 2

Príloha č. 1 Zdrojové kódy pre Matlab

Zdrojový kód náhodne generovaných obrázkov.

```
function generovanie(po,uhel,px,py)
for i=1:po % pocet ciar
    x=[0 1];y=[0 0];suradnice=[x;y];
    k=unifrnd(0,100); % generovanie náhodných čísel
    posuv=[unifrnd(0,px) unifrnd(0,py)];
    p=ones(size(suradnice));
    p(1,:)=p(1,:)*posuv(1);
    p(2,:)=p(2,:)*posuv(2);
    if length(uhel)==2;
        alfa=unifrnd(uhel(1),uhel(2));
    else alfa=unifrnd(uhel(1),uhel(1));
    end
    alfa=alfa*pi/180;
    otoc=[cos(alfa) -sin(alfa);sin(alfa) cos(alfa)];
    suradnice3=k*otoc*suradnice+p;
    plot(suradnice3(1,:),suradnice3(2:),'-k'),axis equal,hold on
end
axis off
```

Zdrojový kód anisotropie FT

```
function [t rose]=anisotropieFT(I,uhelkrok, graf)
% I - sudy, uhelkrok - ve stupních, graf - 1 - vykreslení, 0 - potlačení
    if(size(I, 3) > 1); I = rgb2gray(I); end
    if size(I, 1)<size(I, 2); I=imcrop(I,[1 1 size(I, 1)-1 size(I, 1)-1]); else I=imcrop(I,[1 1 size(I, 2)-1 size(I, 2)-1]); end
    modulus=mod(size(I,1),2); if modulus==1; I=imcrop(I,[1 1 size(I, 1)-2 size(I, 1)-2]); end
    spectrum = power_spectrum(I);
    S=spectrum; % liché
    S(end+1,:)=spectrum(1,:);
    S(1:end-1,end+1)=spectrum(:,1);
    S(end,end)=spectrum(1,1);
    SS=log(1+abs(S)); % prahování
    %figure,imshow(SS,[])
    IBW=SS>(max(SS(:))-max(SS(:))*0.5); % prahování
    %figure,imshow(imrotate(IBW,90),[]) % prahování
    %figure,imshow(IBW,[]) % prahování
    [rose, foo] = line_sum(S);
    if(graf)
        figure
        vektor=[linspace(-pi/2, pi/2, length(rose));rose]; % pomoc
        pom=find(vektor(2,:)==max(vektor(2,:))); % pomoc
        % polarM(linspace(-pi/2, pi/2, length(rose)), rose, 3.5,'-');
        polar(linspace(-pi/2, pi/2, length(rose)), rose, '-');
        hold on
        % polarM(vektor(1,pom(1)),max(rose),3.5,'or') % pomoc
        polar(vektor(1,pom(1)),max(rose),'or') % pomoc
        % polarM(linspace(pi/2, 3*pi/2, length(rose)), rose, 3.5,'-');
        polar(linspace(pi/2, 3*pi/2, length(rose)), rose, '-');
        hold off
```

```

        %title('Polární diagram');
    end
    rose=rose(1:end);
    t=linspace(-pi/2, pi/2, length(rose));
function [spectrum] = power_spectrum(I)
    dft = fft2(im2double(I));
    sdft = fftshift(dft);
    spectrum = abs(sdft);
end

function [rose, foo] = line_sum(I)
    foo = I((size(I, 1) +1)/ 2, (size(I, 2)+1) / 2);
    rose = [];

    for w = 0:uhelkrok:180
        sum = 0;
        [x y] = dic_vec(size(I, 1)+1, w); % souřadnice bodů na čáře
        for i = 1:length(x)-1
            sum = sum + I(y(i), x(i));
        end
        rose = [rose sum];
    end
    rose = rose / foo;
    %rose = fliplr(rose);
%    rose(end + 1) = bRed;
end

function [x, y] = dic_vec(m, uhel)
% Funkce vrací souřadnice pixelů na čáře v úhlu zadaném ve stupních
'uhel'
% a podle velikosti čtvercového obrazu 'm', liché velikosti.

    uhel = uhel/180 * pi;

    d = 0;
    if(uhel >= 0 && uhel <= pi/4)
        k = tan(uhel);
        x = 1 : (m+1) / 2;
        y = length(x)*ones(size(x));
        for i = 2 : length(x);
            y(i) = y(i-1);
            d = d + k;
            if(d > 1/2)
                y(i) = y(i) - 1;
                d = d - 1;
            end
        end
        x = [x(1:end-1) x+(length(x)-1)];
        y = [2*length(y) - fliplr(y) y(2:end)];
    end

    if(uhel > pi/4 && uhel <= pi/2)
        k = tan(pi/2 - uhel);
        y = 1 : (m+1) / 2;
        x = length(y)*ones(size(y));
        for i = 2 : length(y);
            d = d + k;
            x(i) = x(i-1);
            if(d > 1/2)
                x(i) = x(i) - 1;

```

```

        d = d - 1;
    end
end
y = [y(1:end-1) y+(length(y)-1)];
x = [2*length(x) - fliplr(x) x(2:end)];
end

if(uhel > pi/2 && uhel <= 3/4*pi)
    k = tan(pi/2 - uhel);
    y = 1 : (m+1) / 2;
    x = length(y)*ones(size(y));
    for i = 2 : length(y);
        x(i) = x(i-1);
        d = d + k;
        if(d < -1/2)
            x(i) = x(i) + 1;
            d = d + 1;
        end
    end
    y = [y(1:end-1) y+(length(y)-1)];
    x = [2*length(x) - fliplr(x) x(2:end)];
end

if(uhel > 3/4*pi && uhel <= pi)
    k = tan(uhel);
    x = 1 : (m+1) / 2;
    y = length(x)*ones(size(x));
    for i = 2 : length(x);
        y(i) = y(i-1);
        d = d + k;
        if(d < -1/2)
            y(i) = y(i) + 1;
            d = d + 1;
        end
    end
    x = [x(1:end-1) x+(length(x)-1)];
    y = [2*length(y) - fliplr(y) y(2:end)];
end
end
end
end

```

Zdrojový kód pas

```

clear,clc,close all
I=imread('4_1.jpg'); % netkana_text.jpg 4_1.jpg
figure,imshow(I,[]),hold on
if size(I,3)>1
    I=rgb2gray(I);
end
vyrez=300;
odr=100;
dor=odr+vyrez;
ods=100;
dos=ods+vyrez;
rectangle('Position',[ods,odr,vyrez,vyrez],'EdgeColor','r','LineWidth',2)
hold off
I=I(odr:dor,ods:dos);
%figure,imshow(I,[]);
%I=uint8(unifrnd(0,255,501));
%I=I(1:101,1:101); % orez okna

```

```

%figure(1),imshow(I,[],),hold on
okno=10; % sudy
[r s]=size(I);
pole=[];
obr=zeros(size(I)-1);
obr1=zeros(size(I)-1);
cit=0;
for i=1:okno:r-okno
    for j=1:okno:s-okno
        cit=cit+1;
        %x=round(unifrnd(1,r-okno-1));
        %y=round(unifrnd(1,s-okno-1));
        x=i;y=j;
        I1=I(x:x+okno-1,y:y+okno-1);
        %figure,imshow(I1,[])

        %%%% FT PRAH %%%%%%%%%
        dft = fft2(im2double(I1));
        sdft = fftshift(dft);
        spectrum = abs(sdft);
        pspectrum = log(1+abs(sdft));
        pspectrum=imrotate(pspectrum,90);
        %figure,imshow(pspectrum,[])
        IBW=pspectrum>(max(pspectrum(:))-max(pspectrum(:))*0.5);
        IBW1=double(IBW);

        %%%%%%%%% V, H histogram %%%%%%%%%
        Vhist=sum(IBW);
        Hhist=sum(IBW');
%        figure,plot(Vhist);
%        figure,plot(Hhist);

        STATS=regionprops(double(IBW),'All');
        DC=floor([(size(IBW, 1)+1)/ 2, (size(IBW, 2)+1) / 2]);
        cx=DC(1);cy=DC(2);
        minor=STATS.MinorAxisLength;
        major=STATS.MajorAxisLength;

%        figure,imshow(IBW1,[],),hold on
%        ellipse(major,minor,-STATS.Orientation*pi/180,cy,cx,'r');
%        text(10,10,['Orientation = '
num2str(round(STATS.Orientation))],'Color',[1 0 0])
%        text(10,30,['MajorAxisLength = '
num2str(round(STATS.MajorAxisLength))],'Color',[1 0 0])
%        text(10,50,['MinorAxisLength = '
num2str(round(STATS.MinorAxisLength))],'Color',[1 0 0])
%        text(10,70,['Ratio = '
num2str(round(STATS.MajorAxisLength)/(STATS.MinorAxisLength))],'Color',[1 0
0])
%        hold off

%        figure,imshow(I1,[])
%
figure(10),rectangle('Position',[x,y,okno,okno],'EdgeColor','r','LineWidth'
,1)
%        figure(i+1)
%        subplot(1,2,1),imshow(I1,[])
%        subplot(1,2,2),
%
%
figure(2),subplot(round(size(I,1)/okno),round(size(I,2)/okno),cit),

```

```

% figure
[t rose]=anisotropyFT(I1,1,0);
t=rad2deg(t);
pom=find(rose==max(rose));

if t(pom(1))>=0 && t(pom(1))<45
    v=okno/2;
    u=round(okno*tan(deg2rad(t(pom(1)))))/2;
elseif t(pom(1))==45
    u=okno/2;
    v=okno/2;
elseif t(pom(1))>45 && t(pom(1))<=90
    v=round(okno/tan(deg2rad(t(pom(1)))))/2;
    u=okno/2;
elseif t(pom(1))==-45
    u=-okno/2;
    v=okno/2;
elseif t(pom(1))>-45 && t(pom(1))<0
    u=round(okno*tan(deg2rad(t(pom(1)))))/2;
    v=okno/2;
elseif t(pom(1))>=-90 && t(pom(1))<-45
    v=-round(okno/tan(deg2rad(t(pom(1)))))/2;
    u=-okno/2;
end

if round(STATS.Orientation)>=0 && round(STATS.Orientation)<45
    v1=okno/2;
    u1=round(okno*tan(deg2rad(round(STATS.Orientation))))/2;
elseif round(STATS.Orientation)==45
    u1=okno/2;
    v1=okno/2;
elseif round(STATS.Orientation)>45 && round(STATS.Orientation)<=90
    v1=round(okno/tan(deg2rad(round(STATS.Orientation))))/2;
    u1=okno/2;
elseif round(STATS.Orientation)==-45
    u1=-okno/2;
    v1=okno/2;
elseif round(STATS.Orientation)>-45 && round(STATS.Orientation)<0
    u1=round(okno*tan(deg2rad(round(STATS.Orientation))))/2;
    v1=okno/2;
elseif round(STATS.Orientation)>=-90 && round(STATS.Orientation)<-
45
    v1=-round(okno/tan(deg2rad(round(STATS.Orientation))))/2;
    u1=-okno/2;
end

pole=[pole; cit x y t(pom(1)) max(rose) j+okno/2 i+okno/2 u v
round(STATS.Orientation) u1 v1
(STATS.MajorAxisLength)/(STATS.MinorAxisLength)];
obr(x:x+okno-1,y:y+okno-1)=t(pom(1))*ones(okno);
obr1(x:x+okno-1,y:y+okno-1)=STATS.Orientation*ones(okno);
% text(0,0,num2str(t(pom(1))), 'Color',[1 0
0], 'FontWeight', 'Bold', 'FontSize',18)
end

end

%%%%%%%%%%%% Zobrazeni pole smeru %%%%%%%%%%%%%%

```

```

figure,imshow(obr,[])
hold on
for k=1:cit
    %text(pole(k,3)+okno/2,pole(k,2)+okno/2-2,num2str(pole(k,4)),'Color',[1
0 0]) %num2str(pole(k,4)
    quiver(pole(k,6),pole(k,7),-pole(k,9),pole(k,8),'r','LineWidth',1),hold
on
    quiver(pole(k,6),pole(k,7),pole(k,9),-pole(k,8),'r','LineWidth',1)
end
hold off

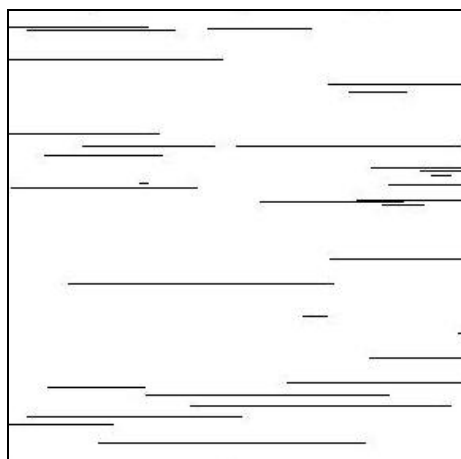
I=I(1:end-1,1:end-1);
figure,imshow(I,[])
hold on
for k=1:cit
    %text(pole(k,3)+okno/2,pole(k,2)+okno/2-
2,num2str(round(pole(k,10))), 'Color',[1 0 0]) %num2str(pole(k,4)
    quiver(pole(k,6),pole(k,7),pole(k,9),-
pole(k,8),'r','LineWidth',2,'MarkerSize',26),hold on
    quiver(pole(k,6),pole(k,7),-
pole(k,9),pole(k,8),'r','LineWidth',2,'MarkerSize',26),hold on
end
hold off

figure,imshow(obr1,[])
hold on
for k=1:cit
    %text(pole(k,3)+okno/2,pole(k,2)+okno/2-
2,num2str(round(pole(k,10))), 'Color',[1 0 0]) %num2str(pole(k,4)
    if pole(k,13)>=2
        quiver(pole(k,6),pole(k,7),pole(k,12),-
pole(k,11),'r','LineWidth',1),hold on
        quiver(pole(k,6),pole(k,7),-
pole(k,12),pole(k,11),'r','LineWidth',1),hold on
    end
end
hold off

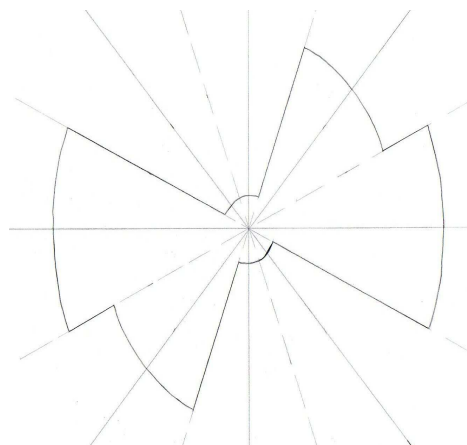
I=I(1:end-1,1:end-1);
figure,imshow(I,[])
hold on
for k=1:cit
    %text(pole(k,3)+okno/2,pole(k,2)+okno/2-
2,num2str(round(pole(k,10))), 'Color',[1 0 0]) %num2str(pole(k,4)
    if pole(k,13)>=2
        quiver(pole(k,6),pole(k,7),pole(k,12),-
pole(k,11),'r','LineWidth',2,'MarkerSize',26),hold on
        quiver(pole(k,6),pole(k,7),-
pole(k,12),pole(k,11),'r','LineWidth',2,'MarkerSize',26),hold on
    end
end
hold off

```

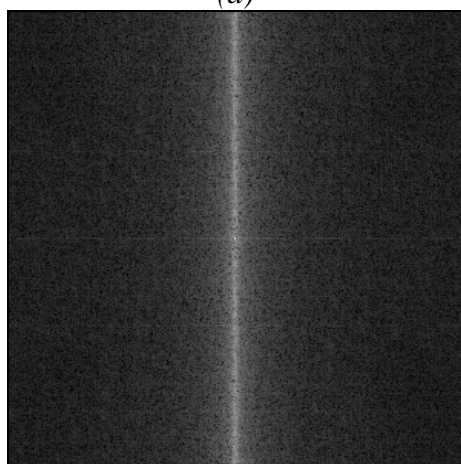

Príloha č. 2 Praktické využitie experimentálnych metód



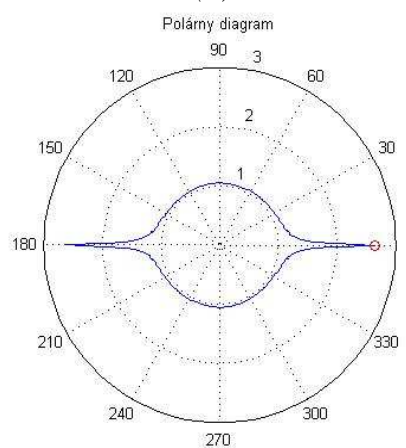
(a)



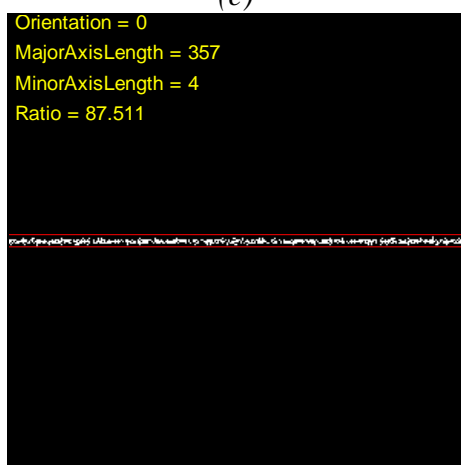
(b)



(c)



(d)

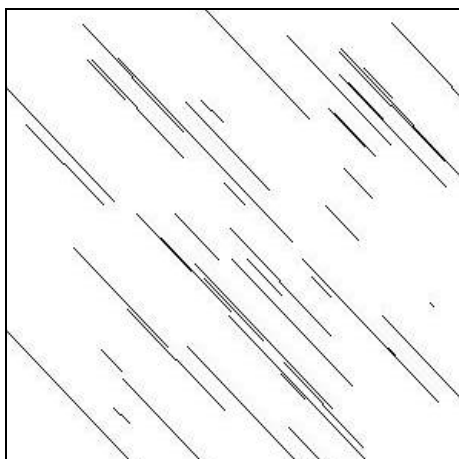


(e)

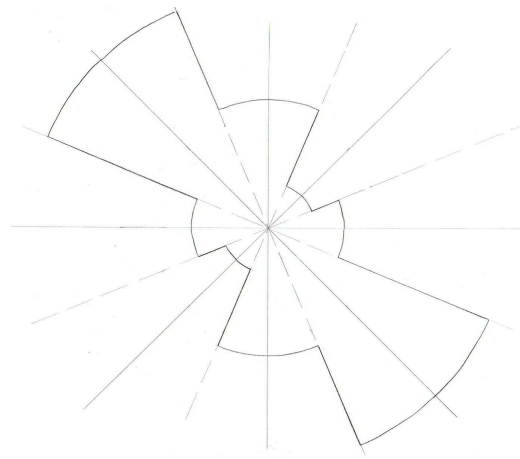


(f)

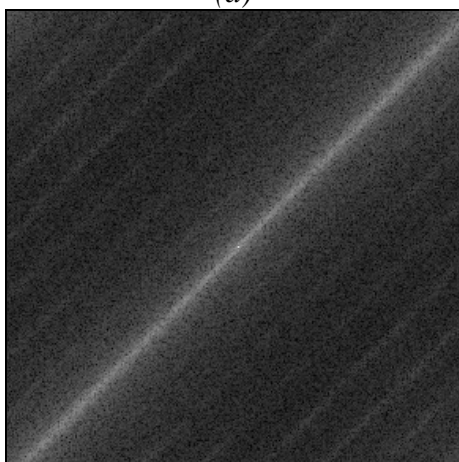
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



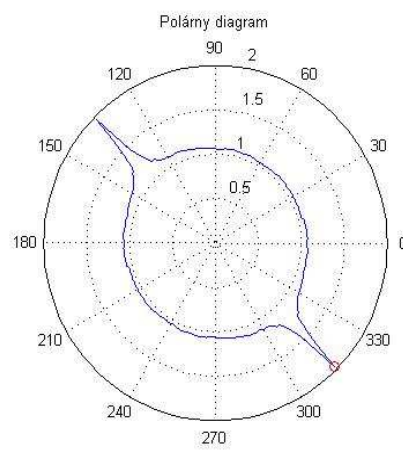
(a)



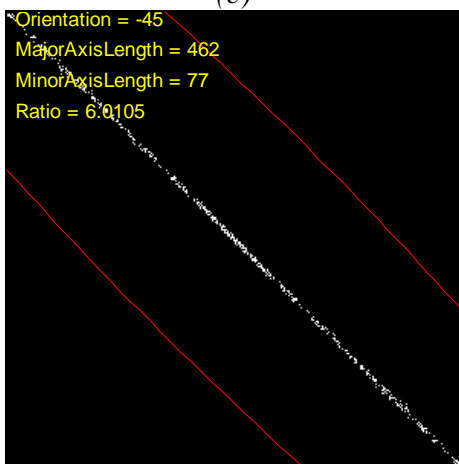
(b)



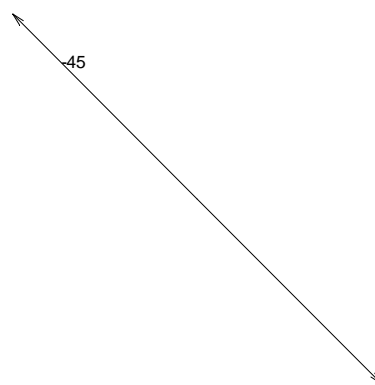
(c)



(d)

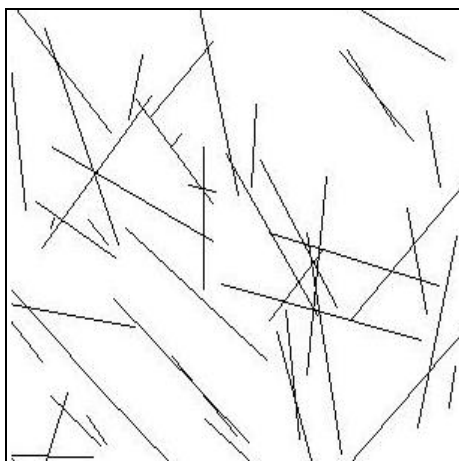


(e)

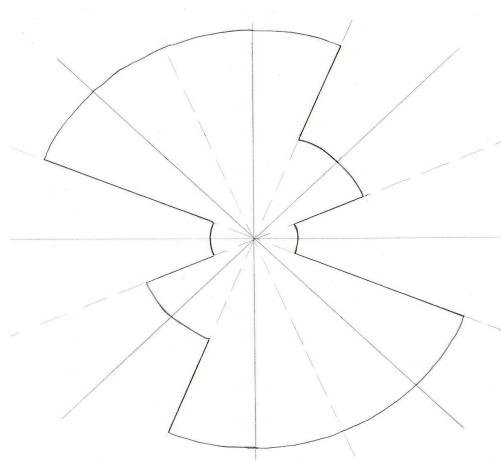


(f)

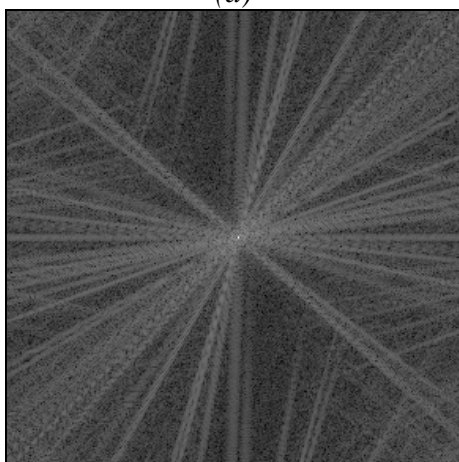
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



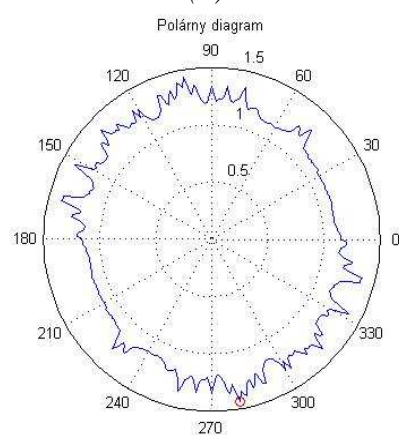
(a)



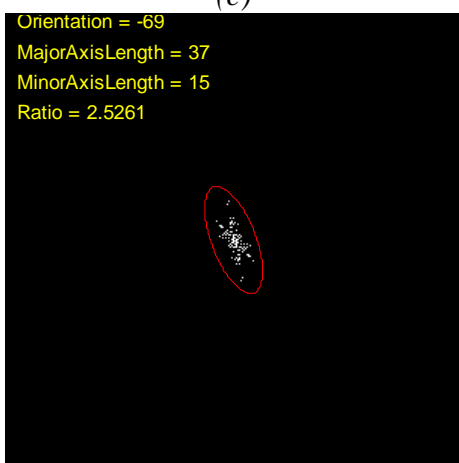
(b)



(c)

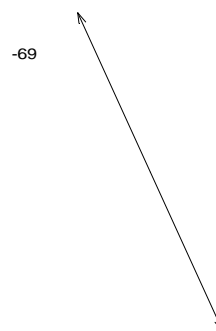


(d)



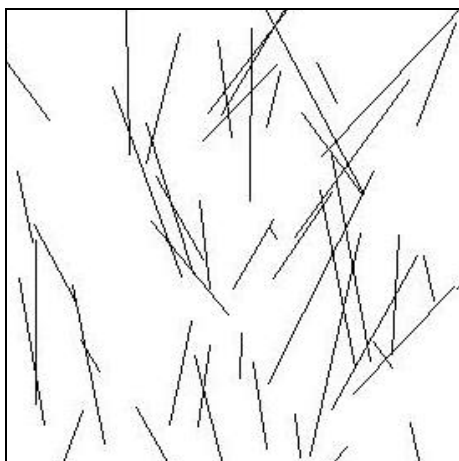
(e)

Orientation = -69
MajorAxisLength = 37
MinorAxisLength = 15
Ratio = 2.5261

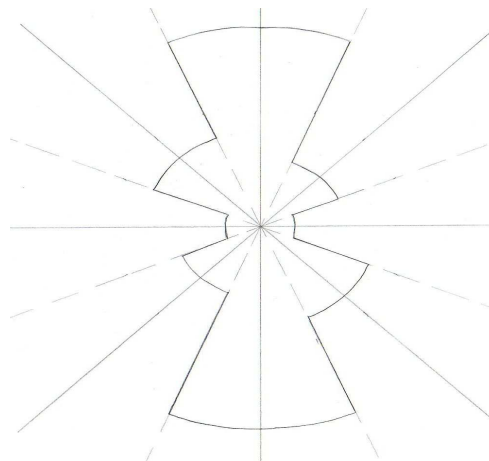


(f)

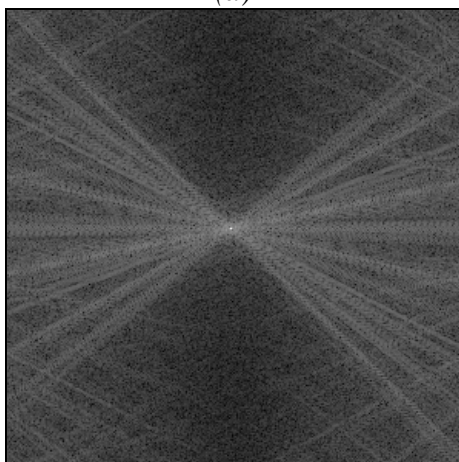
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



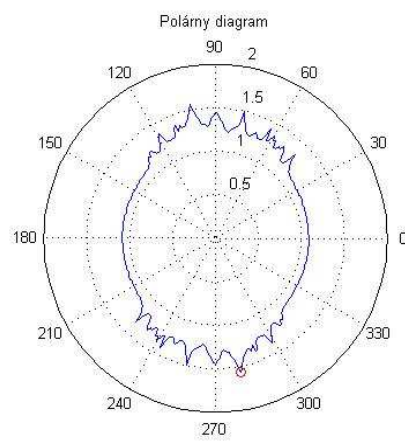
(a)



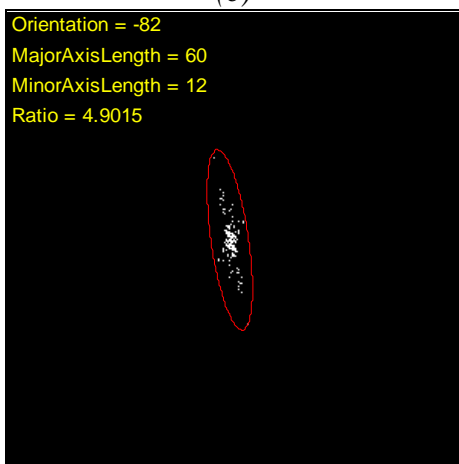
(b)



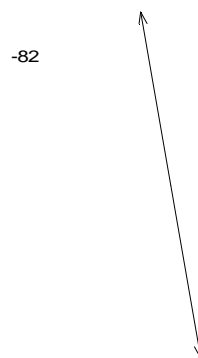
(c)



(d)

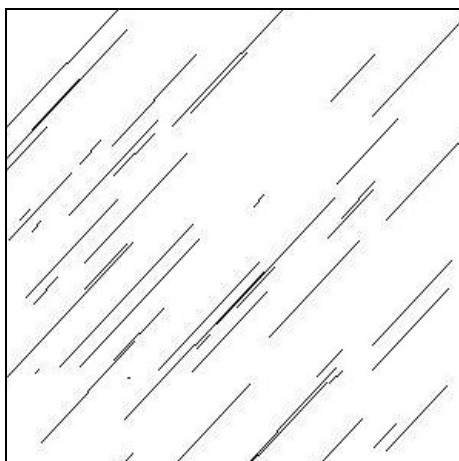


(e)

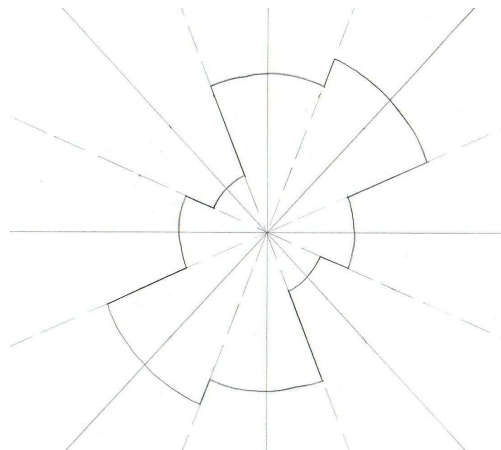


(f)

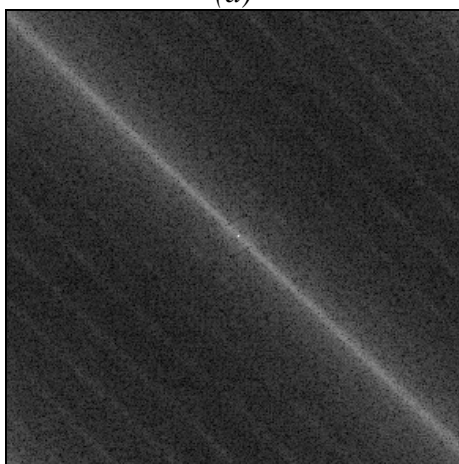
Obrázok (a) Obráz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



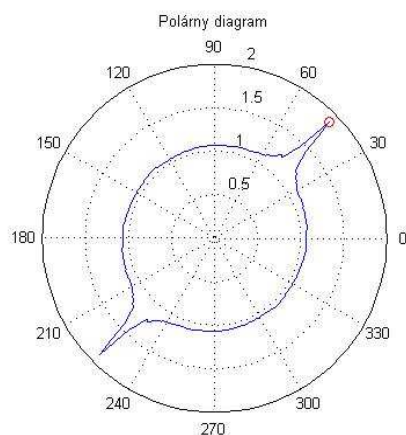
(a)



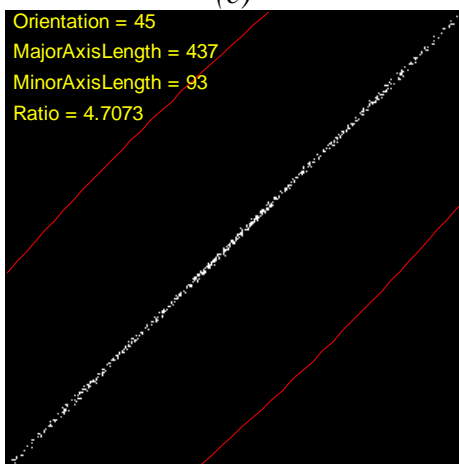
(b)



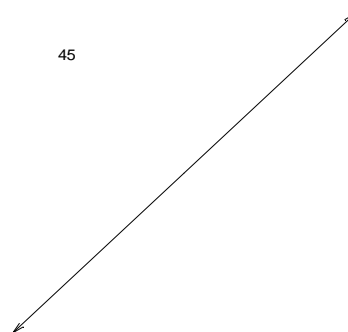
(c)



(d)

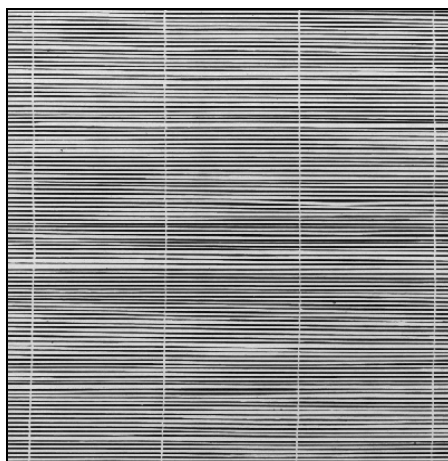


(e)

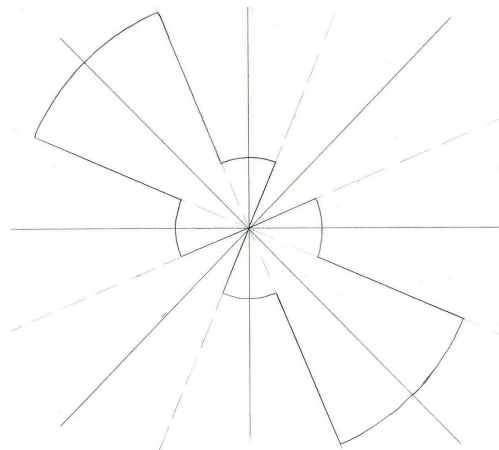


(f)

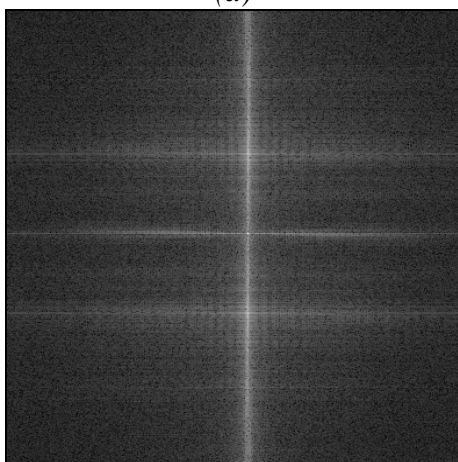
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



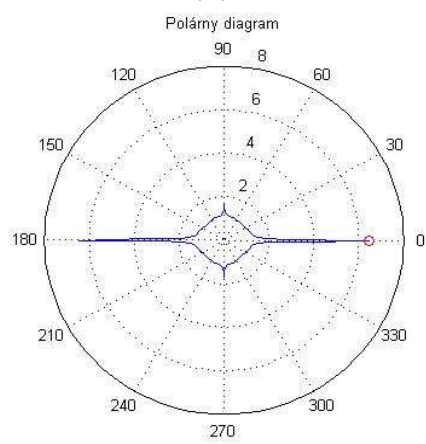
(a)



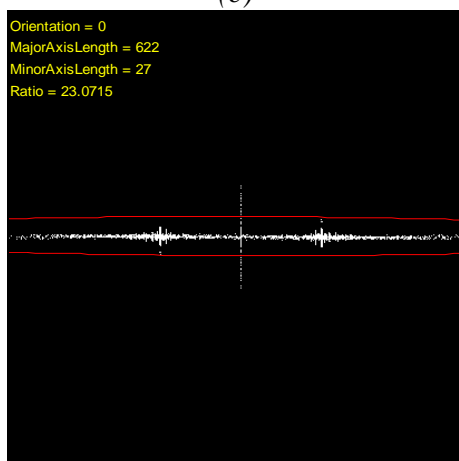
(b)



(c)



(d)



(e)

0

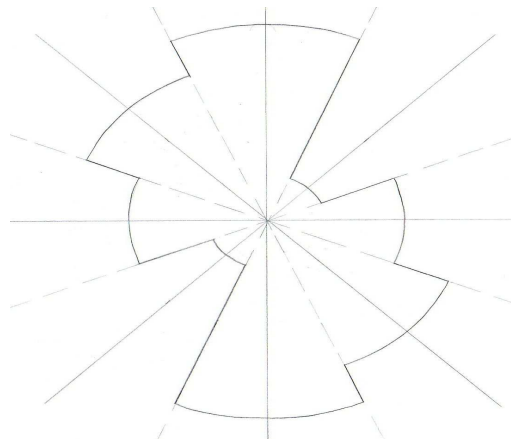


(f)

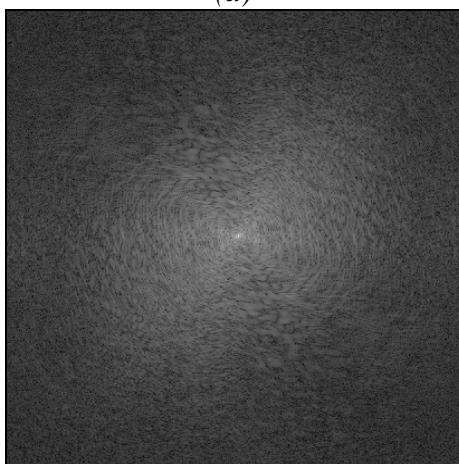
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



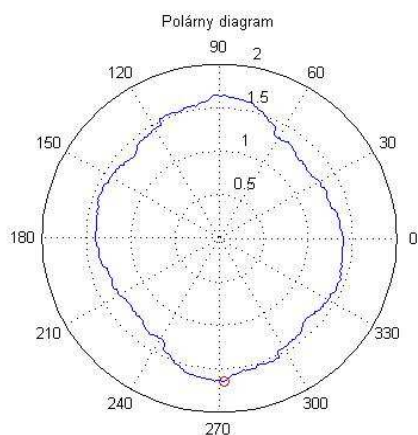
(a)



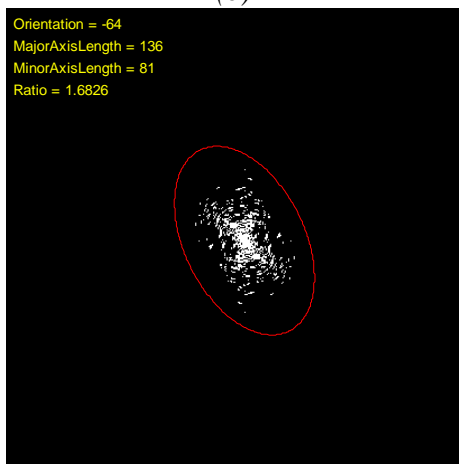
(b)



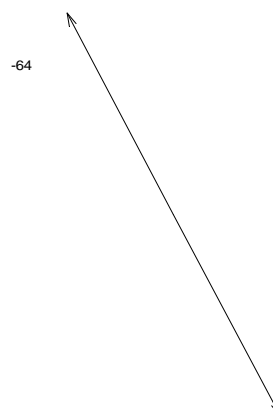
(c)



(d)



(e)

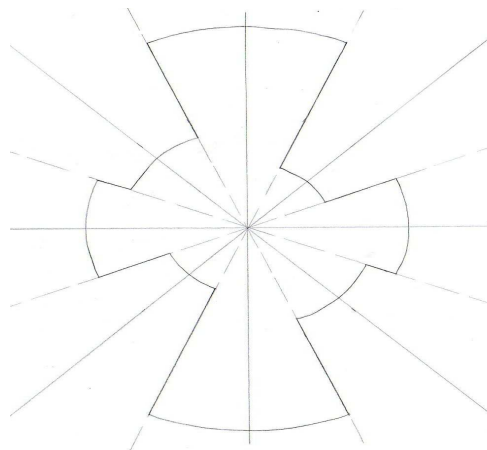


(f)

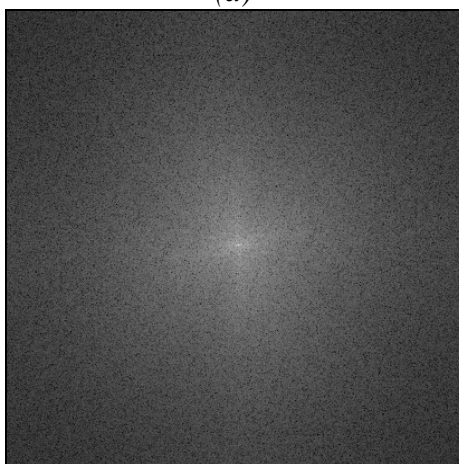
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



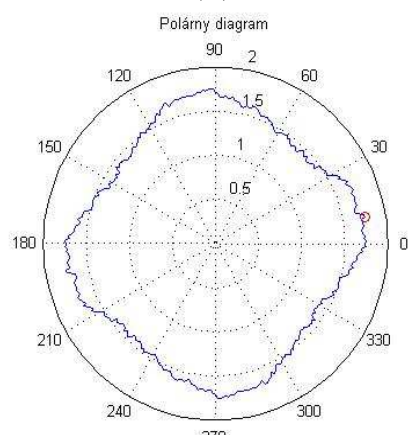
(a)



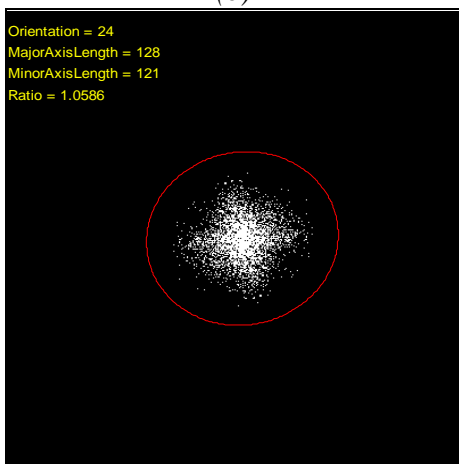
(b)



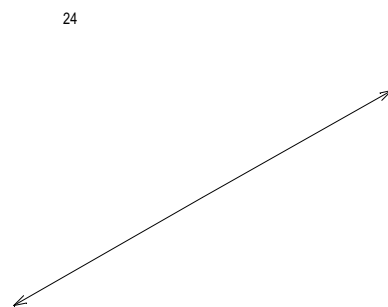
(c)



(d)



(e)

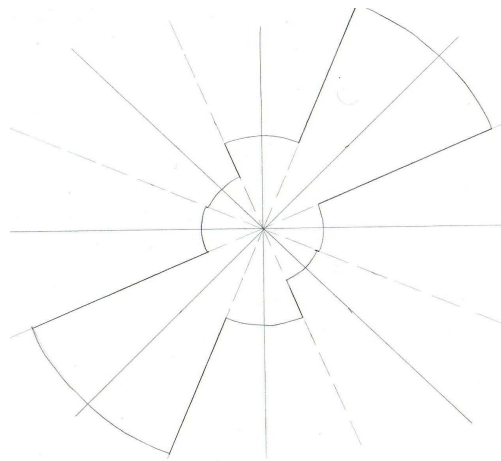


(f)

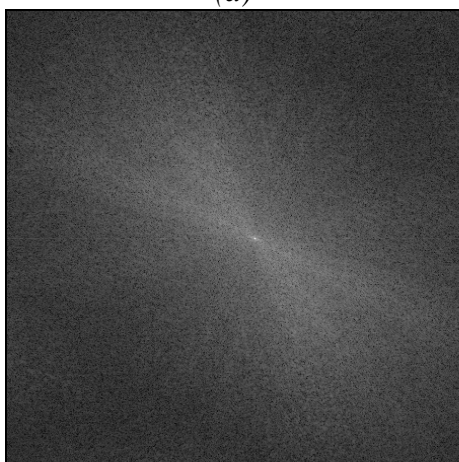
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



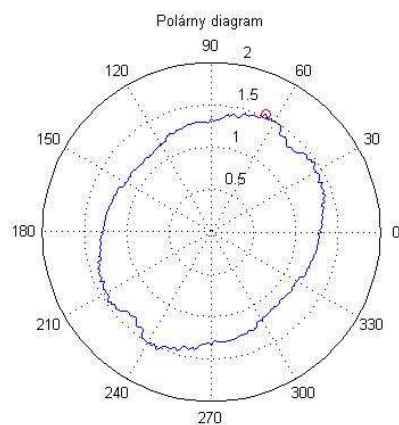
(a)



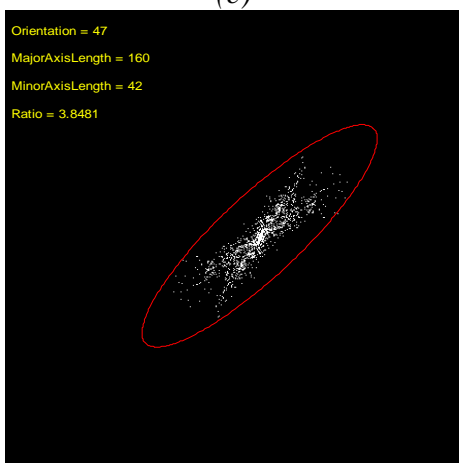
(b)



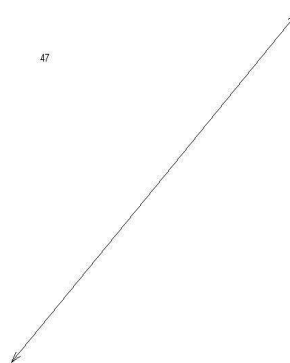
(c)



(d)

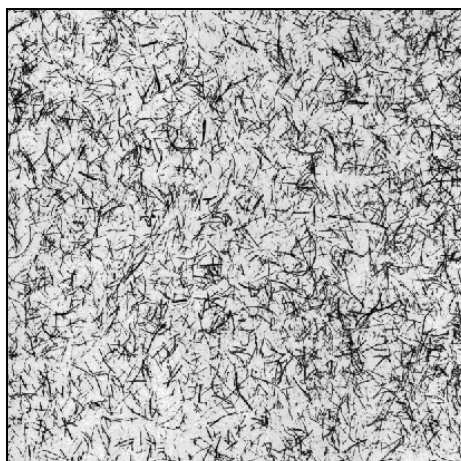


(e)

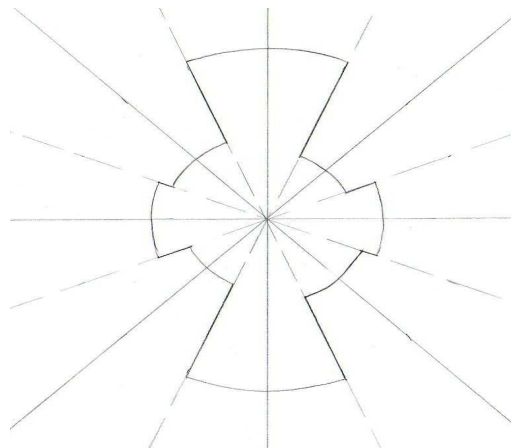


(f)

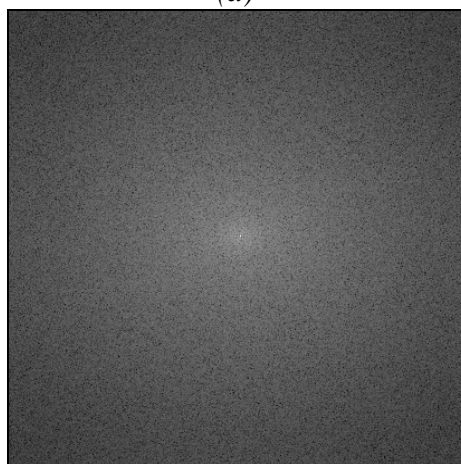
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



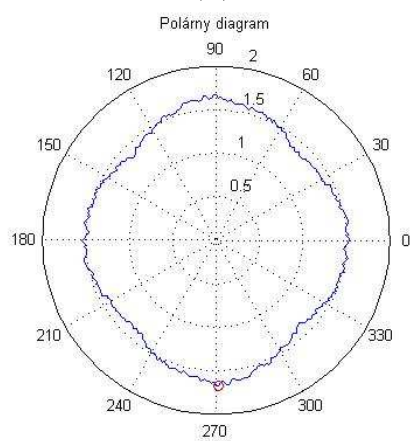
(a)



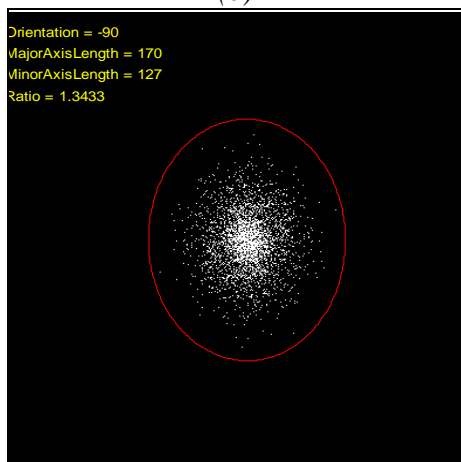
(b)



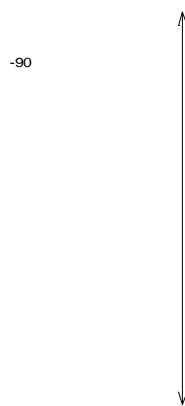
(c)



(d)

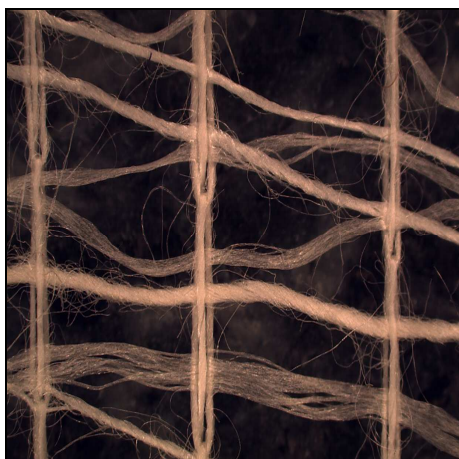


(e)

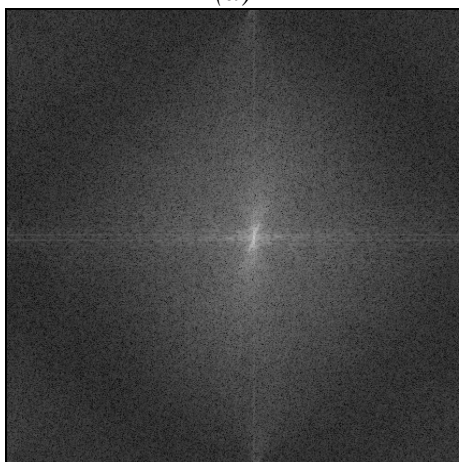


(f)

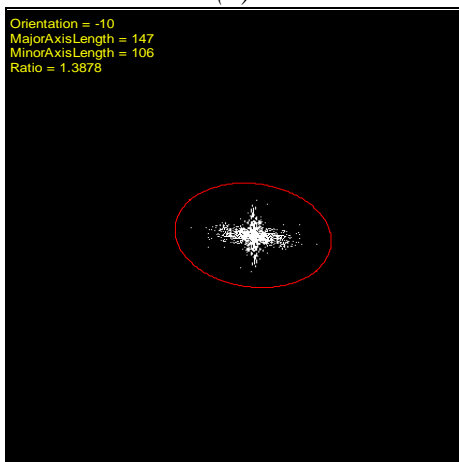
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



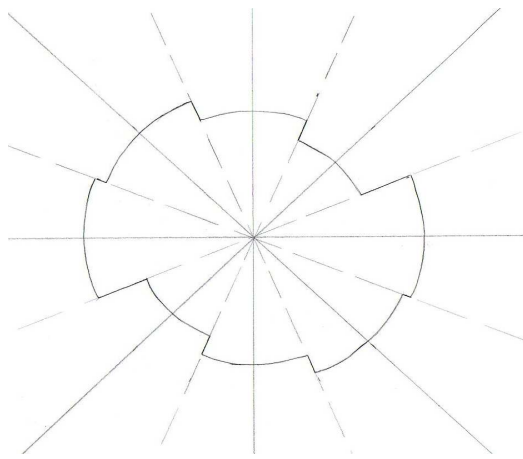
(a)



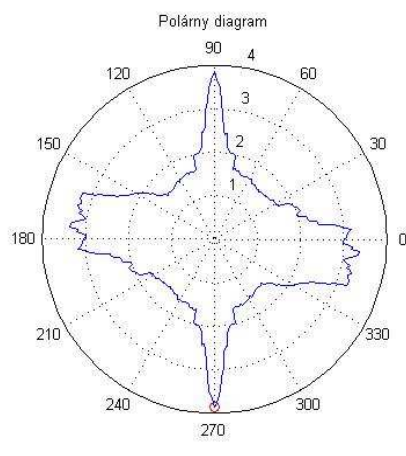
(c)



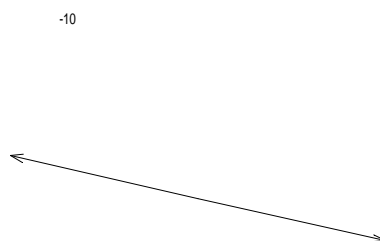
(e)



(b)

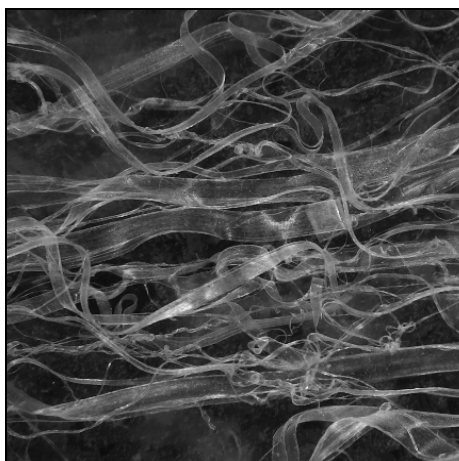


(d)

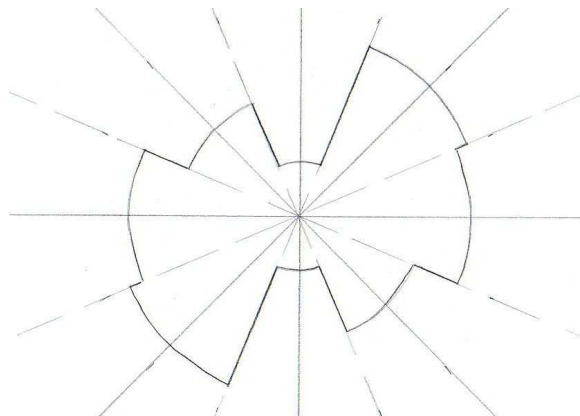


(f)

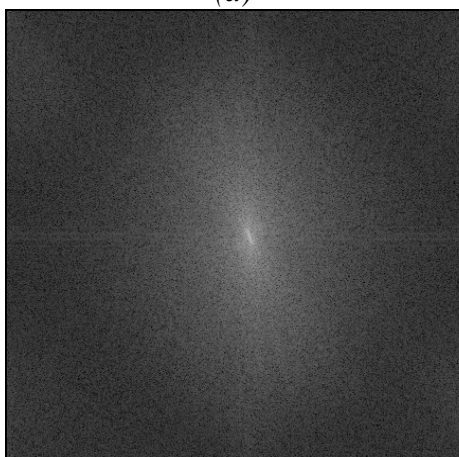
Obrázok (a) Obráz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



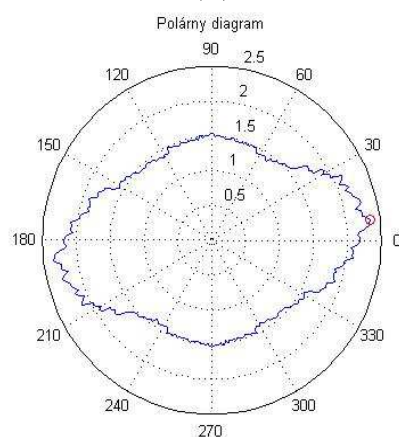
(a)



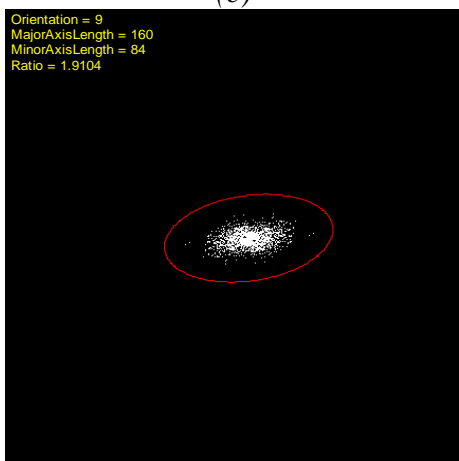
(b)



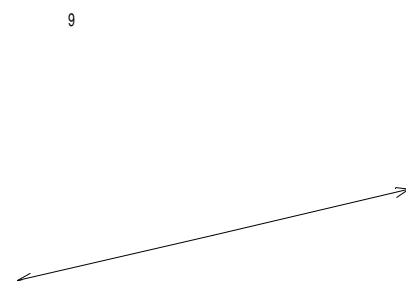
(c)



(d)

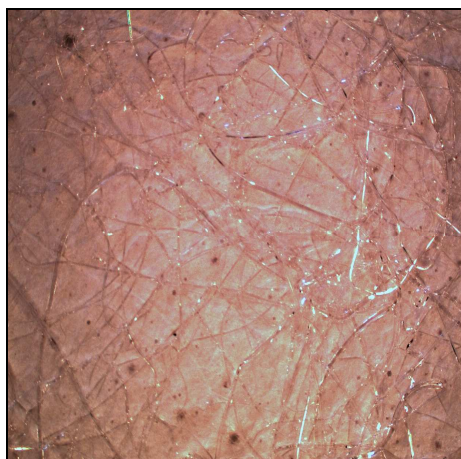


(e)

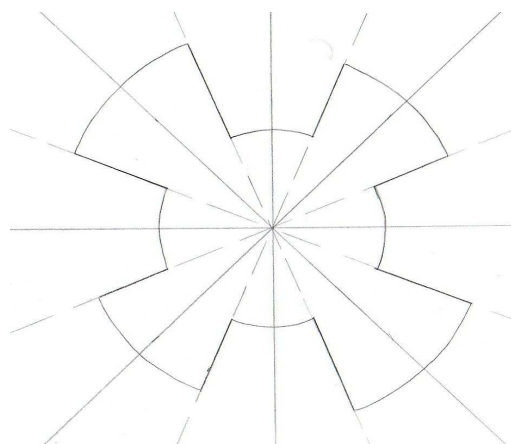


(f)

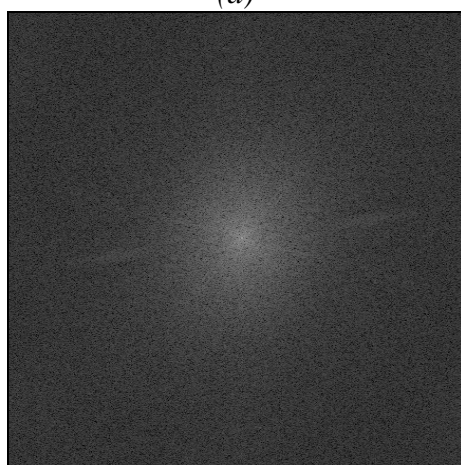
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



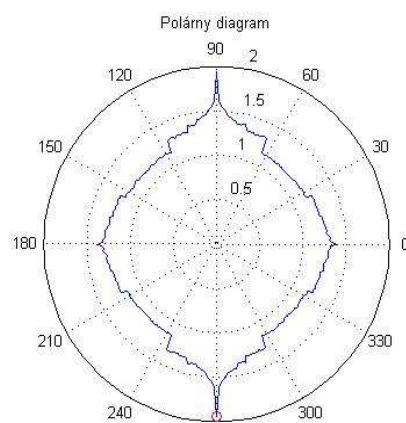
(a)



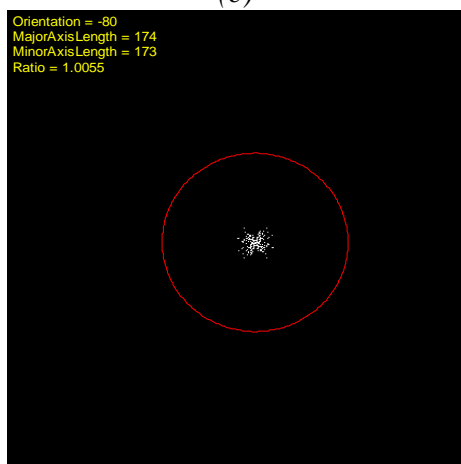
(b)



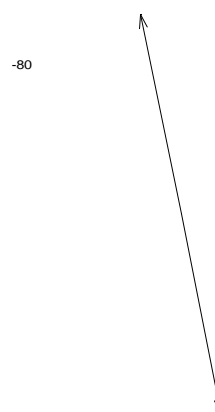
(c)



(d)

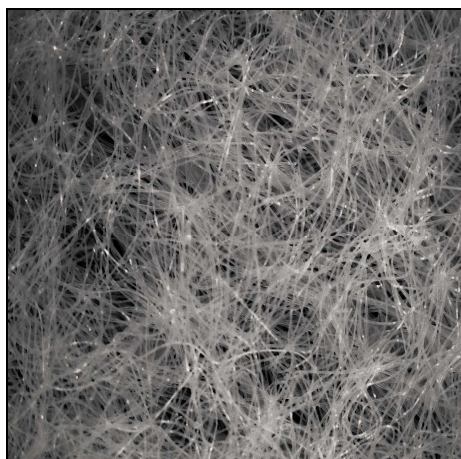


(e)

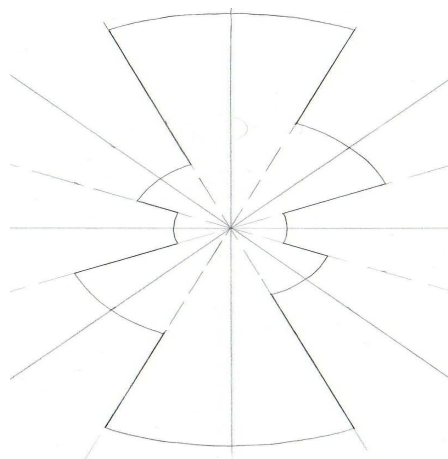


(f)

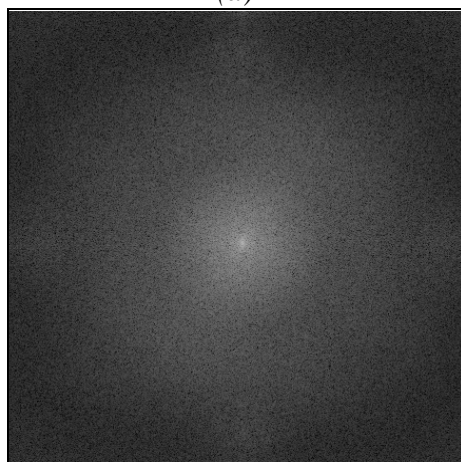
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



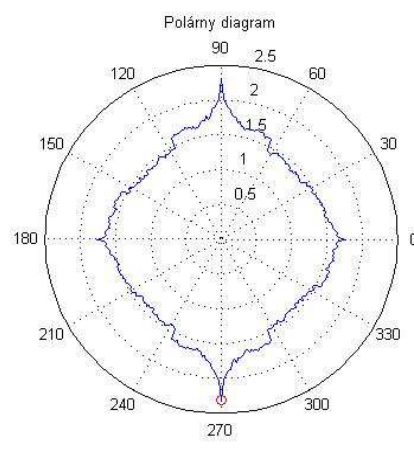
(a)



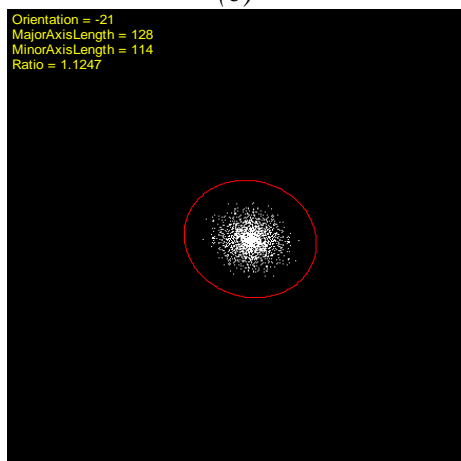
(b)



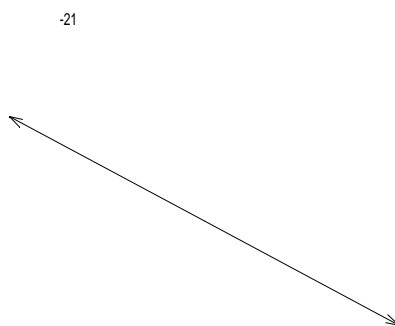
(c)



(d)

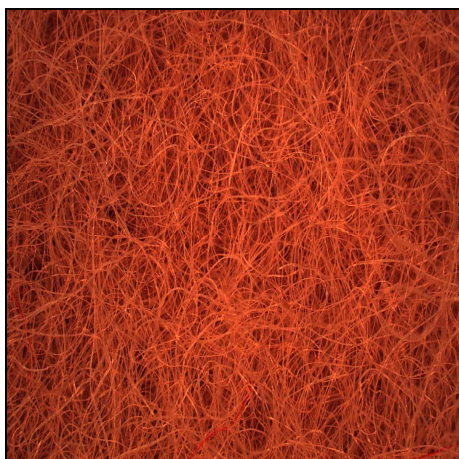


(e)

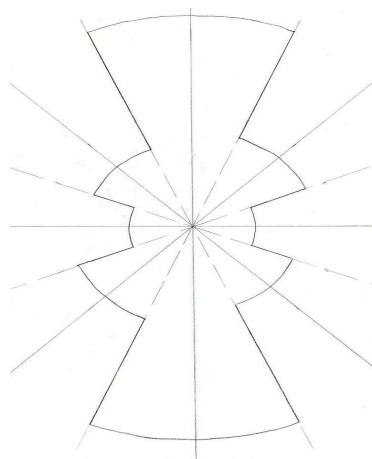


(f)

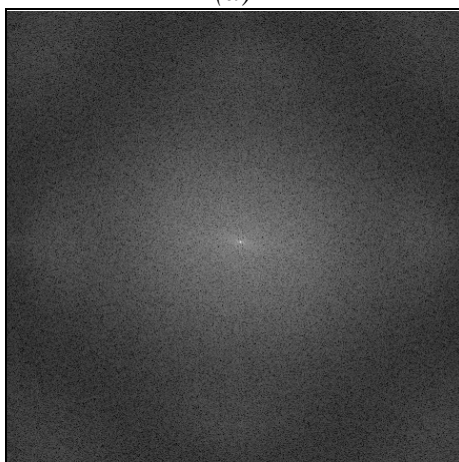
Obrázok (a) Obraz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.



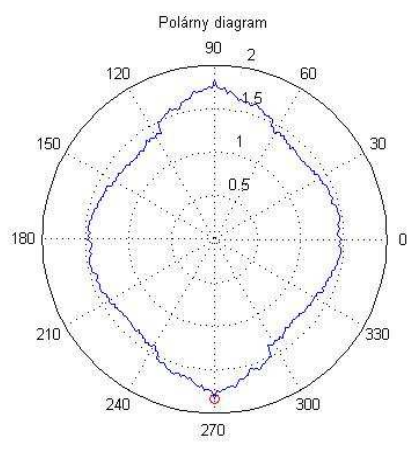
(a)



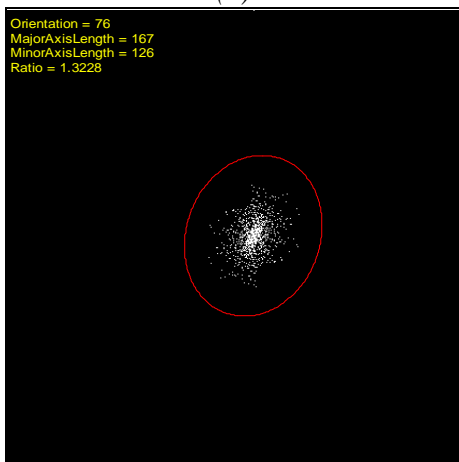
(b)



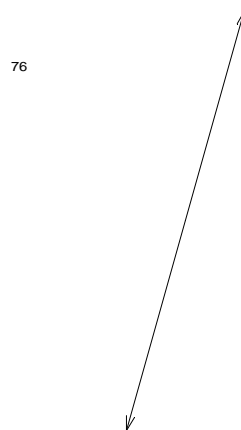
(c)



(d)



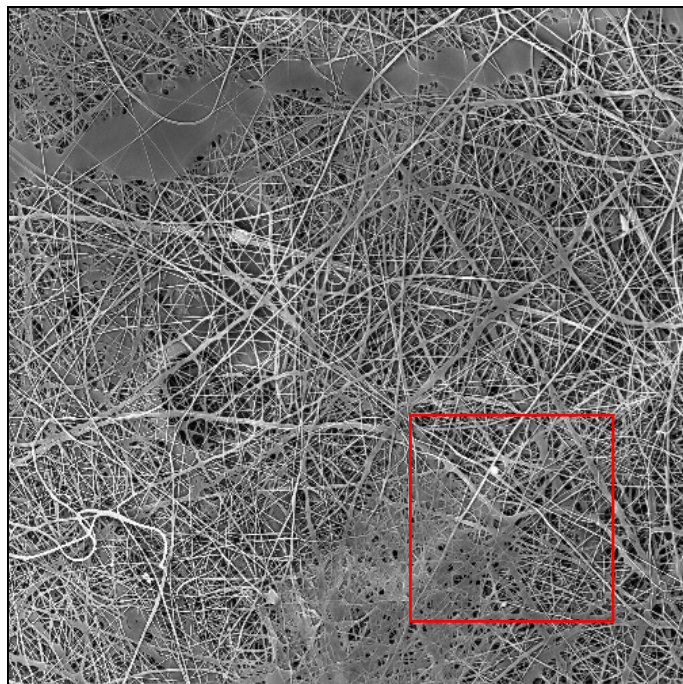
(e)



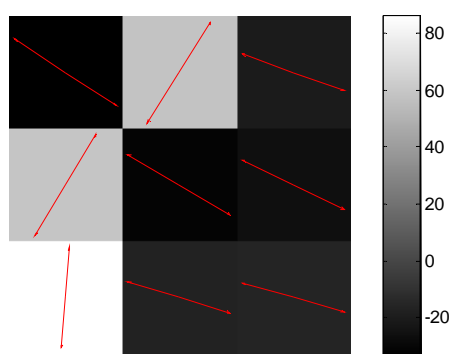
(f)

Obrázok (a) Obráz z testovacej obrazovej sady, (b) smerová ružica, (c) výkonové spektrum, (d) polárny diagram, (e) elipsa, (f) šípka.

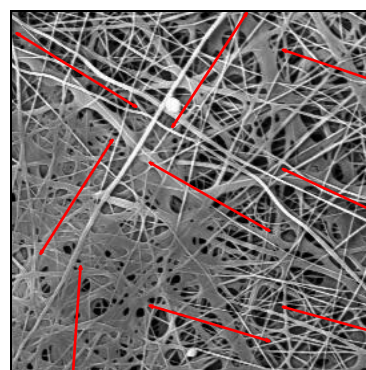
Príloha č. 3 Hodnotenie smerovej orientácie v obraze nanovlákien



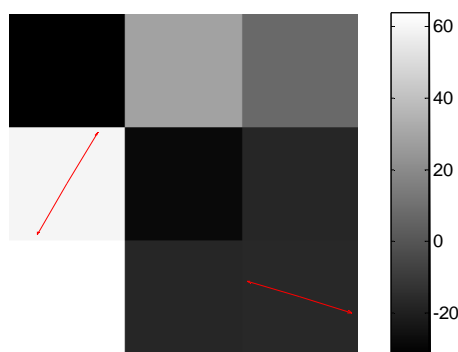
Obraz nanovlákien s označením výrezu.



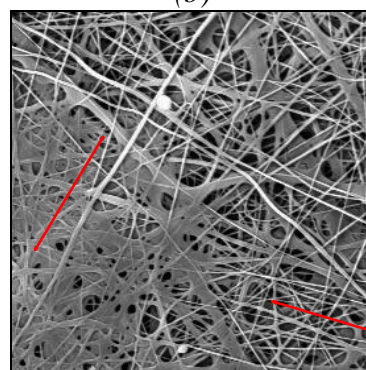
(a)



(b)

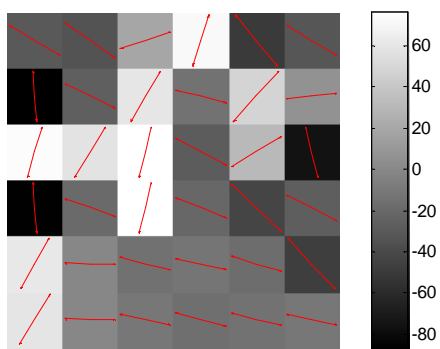


(c)

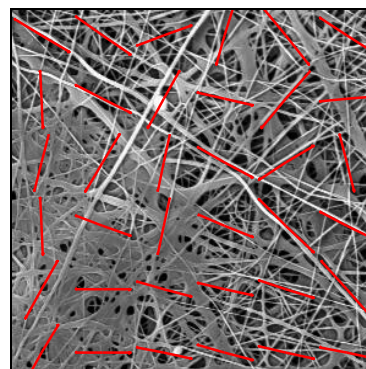


(d)

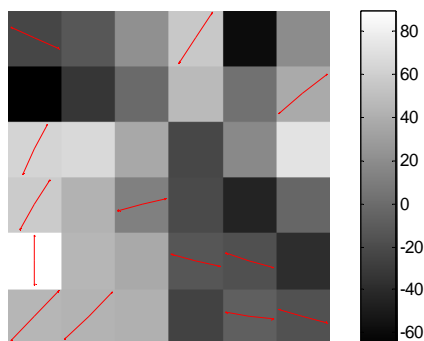
Pole rozdelené do 9.-tich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



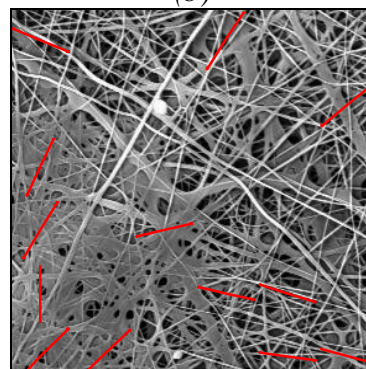
(a)



(b)

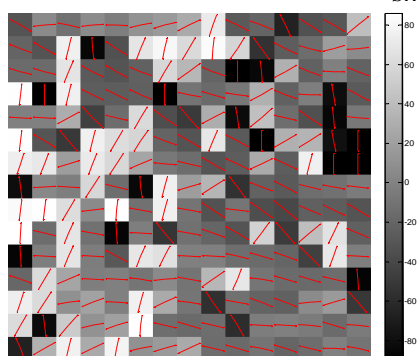


(c)

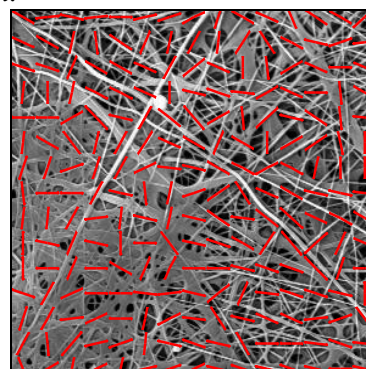


(d)

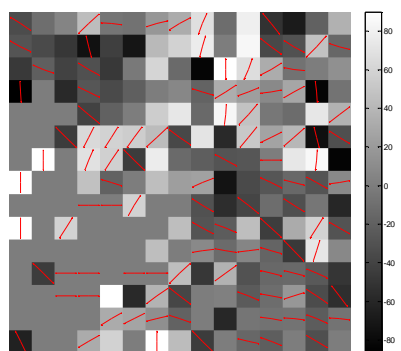
Pole rozdelené do 36. – ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



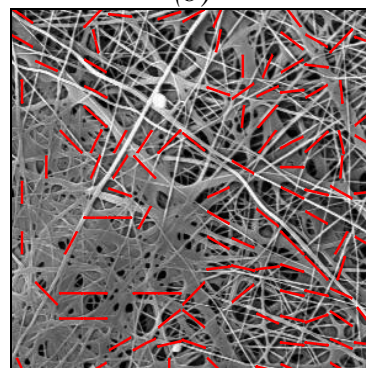
(a)



(b)

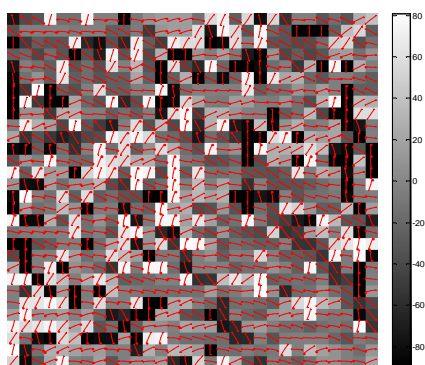


(c)

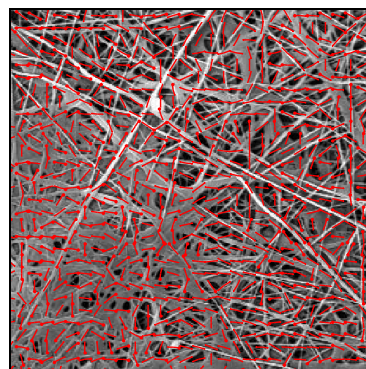


(d)

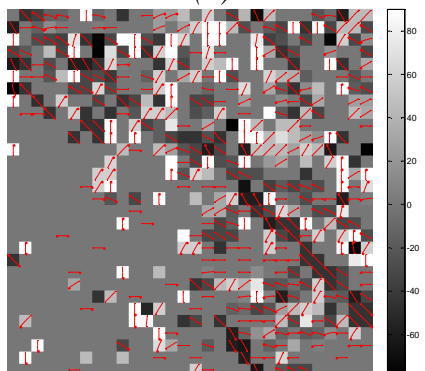
Pole rozdelené do 225.-ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



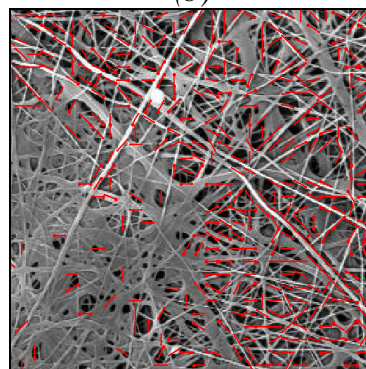
(a)



(b)



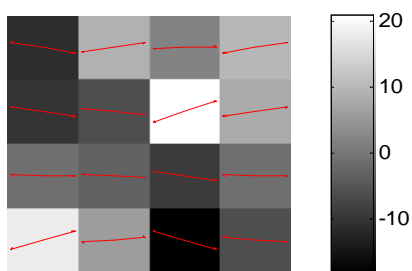
(c)



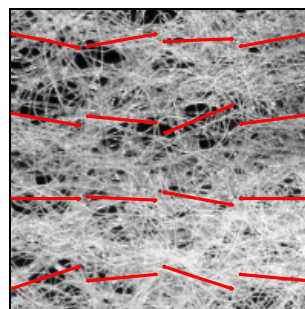
(d)

Pole rozdelené do 900 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.

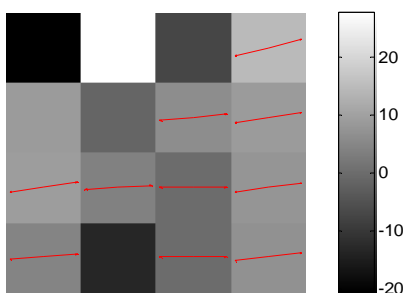
Príloha č. 4 Hodnotenie smerovej orientácie na netkanej textílii 1



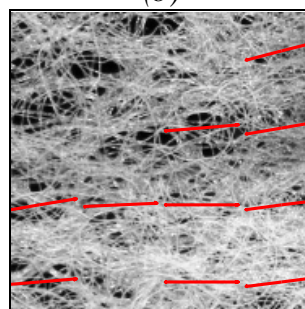
(a)



(b)

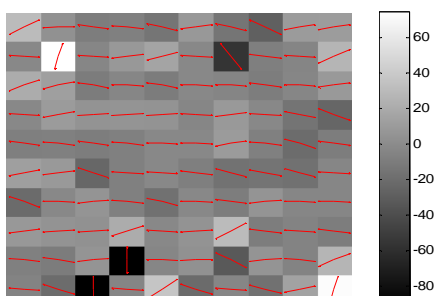


(c)

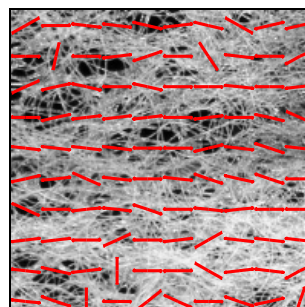


(d)

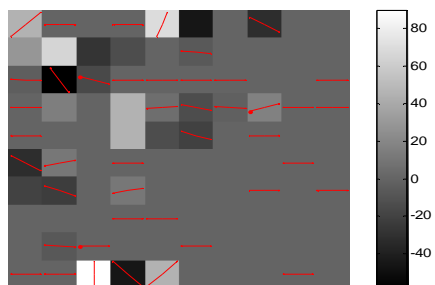
Výrez č. 1 Pole rozdelené do 16. - ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



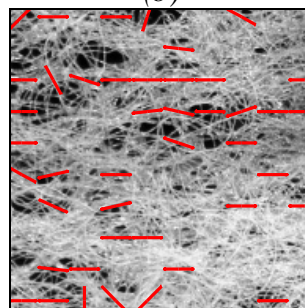
(a)



(b)

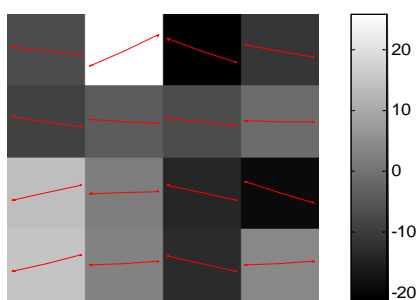


(c)

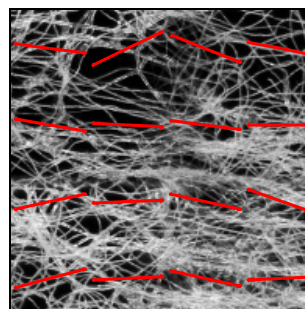


(d)

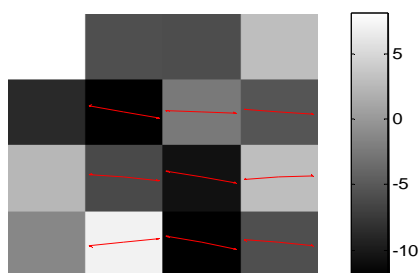
Výrez č. 1 Pole rozdelené do 100 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



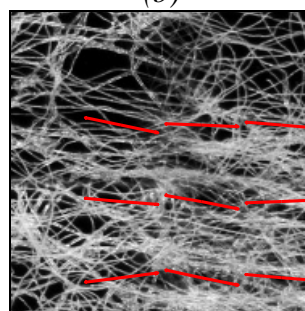
(a)



(b)

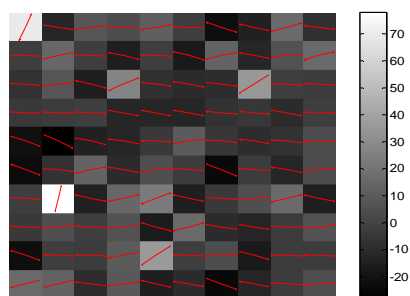


(c)

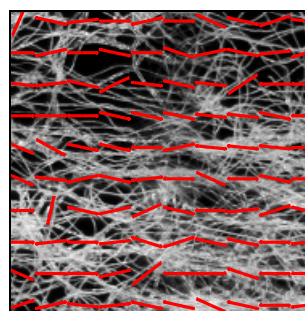


(d)

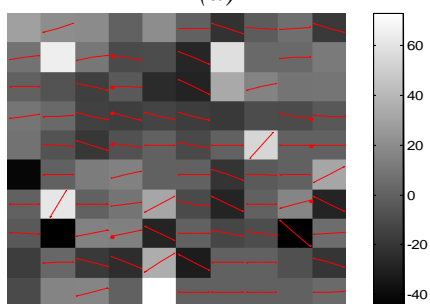
Výrez č. 3 Pole rozdelené do 16. – ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



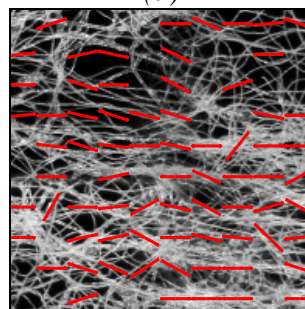
(a)



(b)

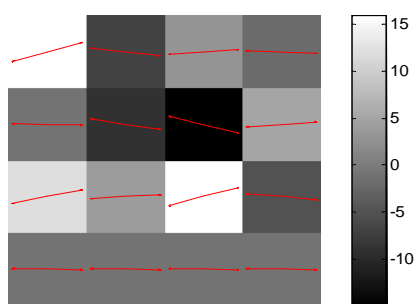


(c)

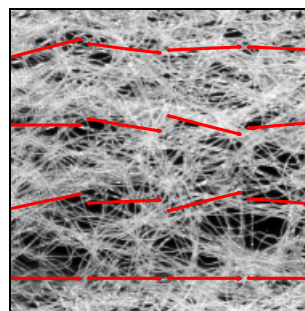


(d)

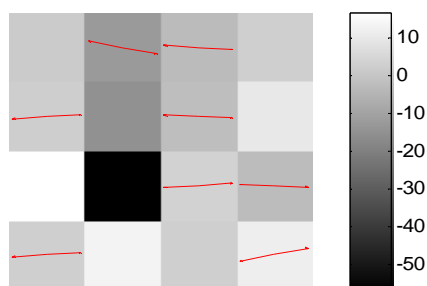
Výrez č. 3 Pole rozdelené do 100 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



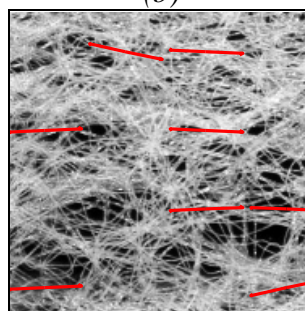
(a)



(b)

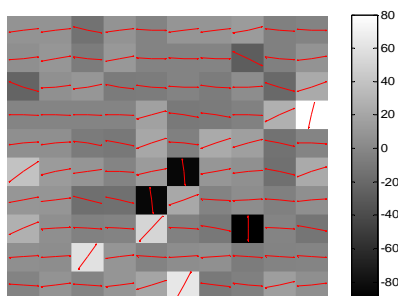


(c)

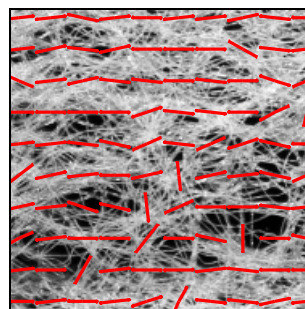


(d)

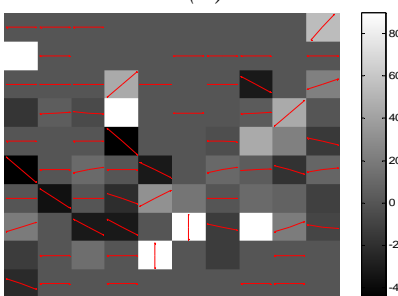
Výrez č. 4 Pole rozdelené do 16. – ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



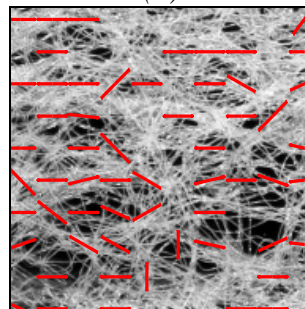
(a)



(b)

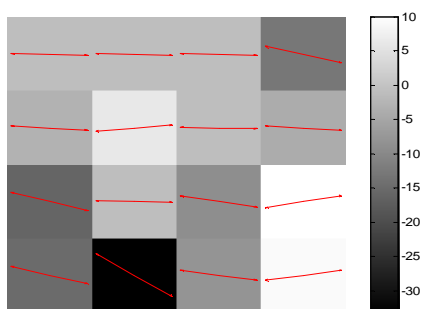


(c)

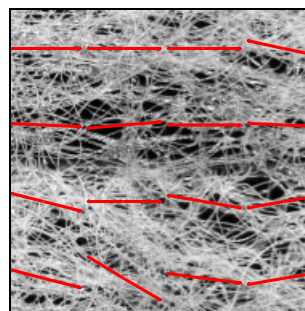


(d)

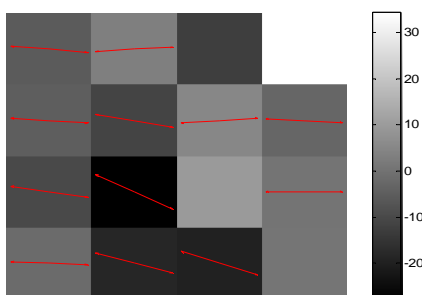
Výrez č. 4 Pole rozdelené do 100 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



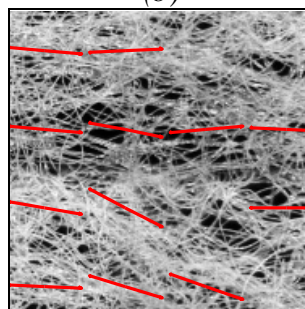
(a)



(b)

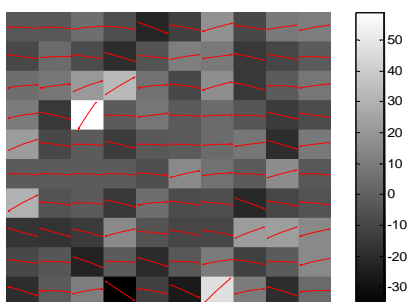


(c)

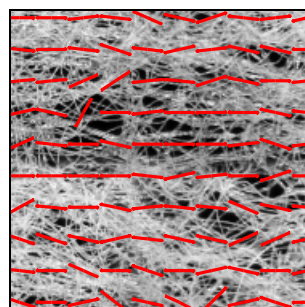


(d)

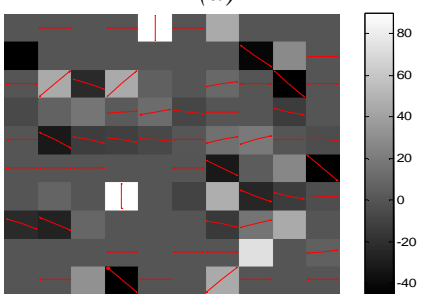
Výrez č. 5 Pole rozdelené do 16. – ich podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



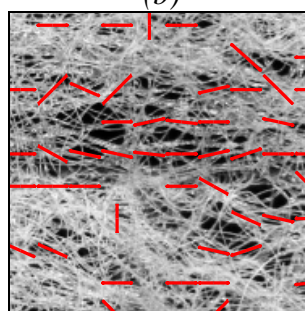
(a)



(b)



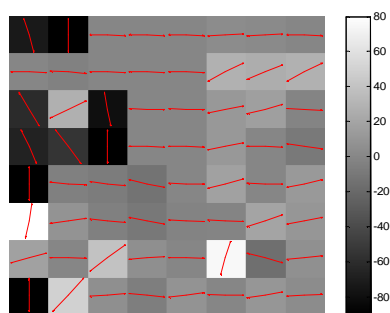
(c)



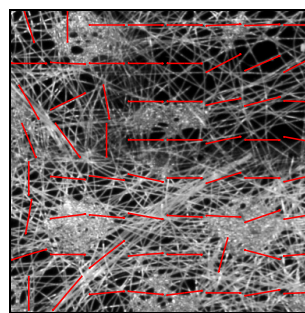
(d)

Výrez č. 5 Pole rozdelené do 100 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.

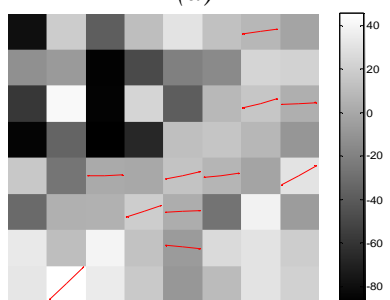
Príloha č. 5 Hodnotenie smerovej orientácie na netkanej textílii 2



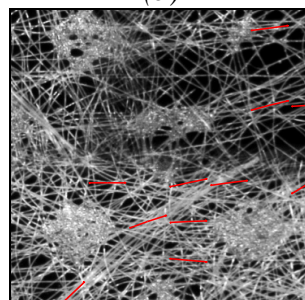
(a)



(b)

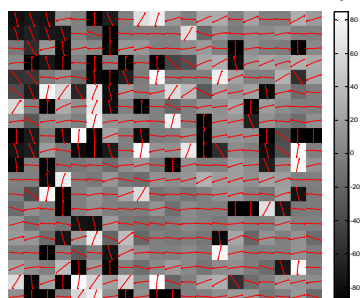


(c)

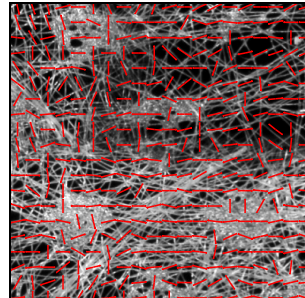


(d)

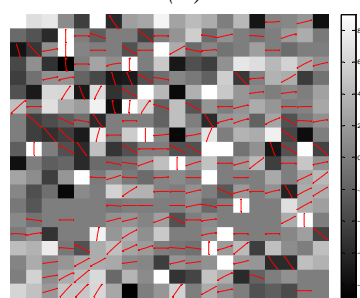
Výrez č. 1 Pole rozdelené do 100 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



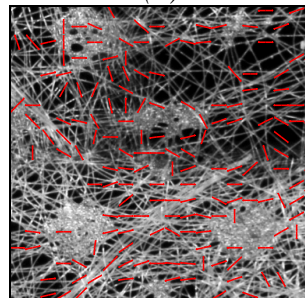
(a)



(b)

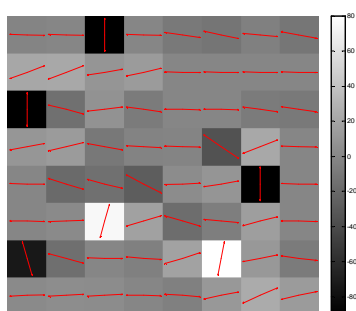


(c)

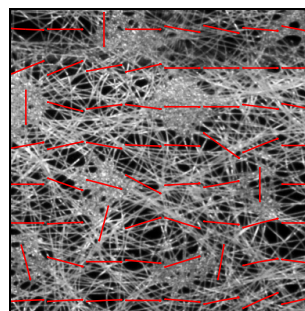


(d)

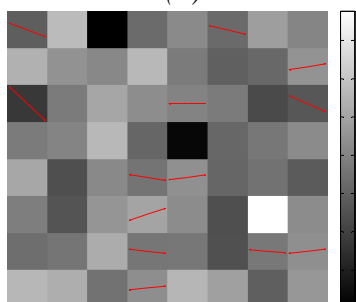
Výrez č. 1 Pole rozdelené do 400 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



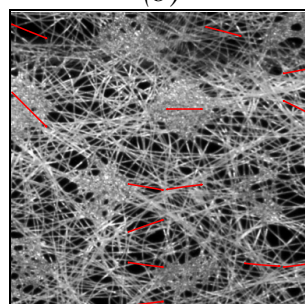
(a)



(b)

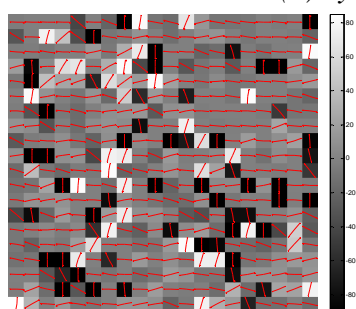


(c)

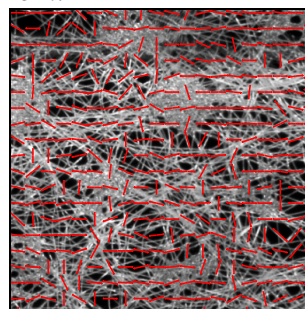


(d)

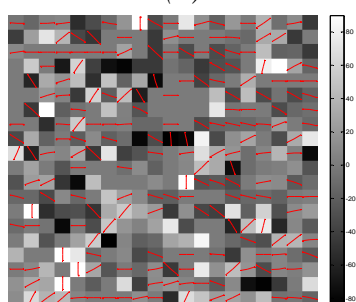
Výrez č. 2 Pole rozdelené do 100 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



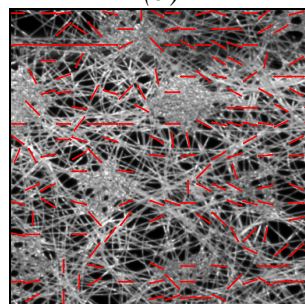
(a)



(b)

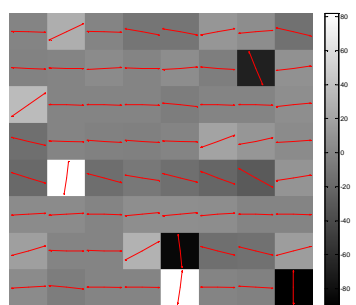


(c)

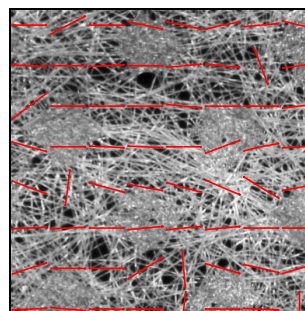


(d)

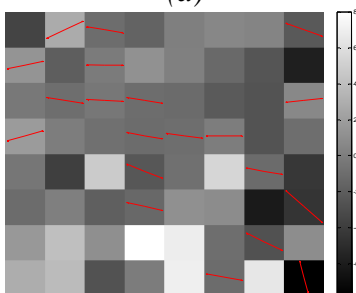
Výrez č. 2 Pole rozdelené do 400 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



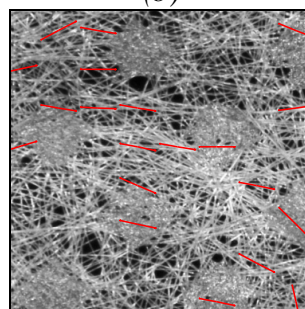
(a)



(b)

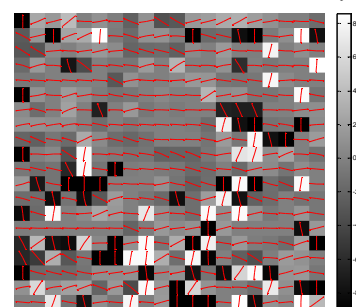


(c)

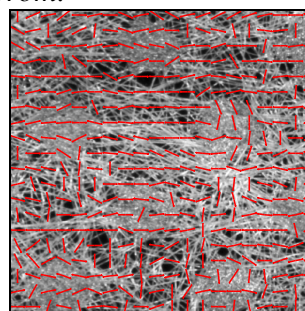


(d)

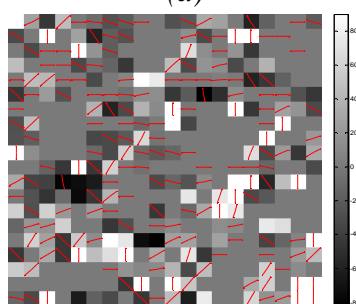
Výrez č. 4 Pole rozdelené do 100 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



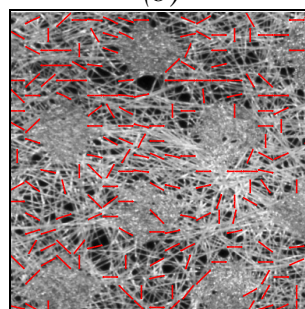
(a)



(b)

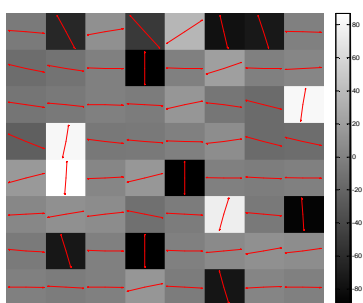


(c)

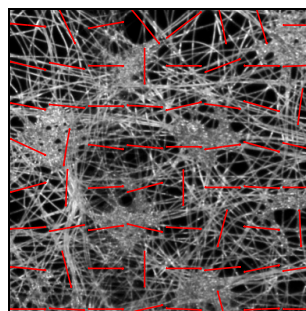


(d)

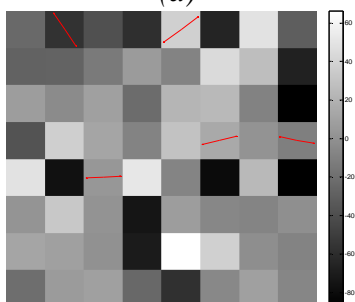
Výrez č. 4 Pole rozdelené do 400 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



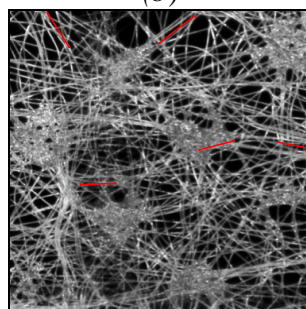
(a)



(b)

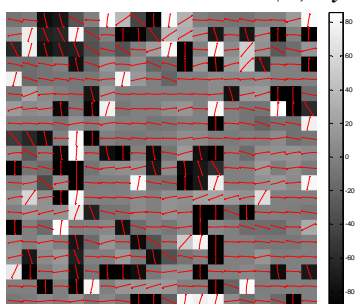


(c)

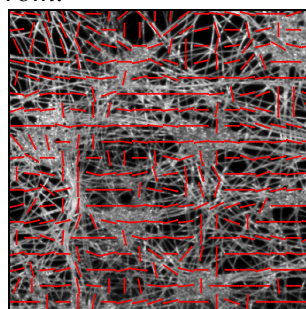


(d)

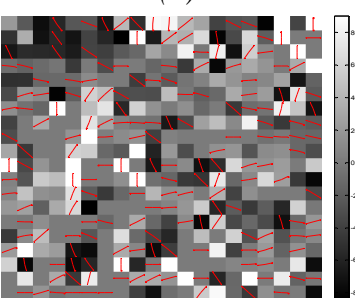
Výrez č. 5 Pole rozdelené do 100 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.



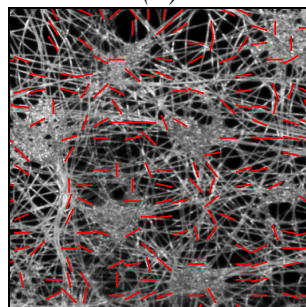
(a)



(b)



(c)



(d)

Výrez č. 5 Pole rozdelené do 400 podokien, (a) smerová orientácia pomocou polárneho diagramu, (b) výrez so smerovým vektorom (c) smerové usporiadanie pomocou elipsy, (d) výrez so smerovým vektorom.